الفلزات تحت المجهر

تأليف : إ. كاوتسور

ارشبرنجر فيرلاج للنشر . برلين • هايدلبرج • نيويورك

الفلزات تحت المجهر

مقدمة فى علم التركيب الميتالوجرافى

الفلزات تحت المجهر

مقدمة في علم التركيب الميتالوجرافي

تأليف

ا. كاوتسور

ترجمة

الدكتور عبد المجيد عامر

كلية الهندسة - جامعة الأزهر

مراجعة

الدكتور محمد الفيصل الرفاعي

كلية الهندسة - جامعة الأزهر



دار شبرنجر فيرلاج للنشر . برلين • هايدلبرج • نيويورك

Metall unter dem Mikroskop

E. Kauczor

الطبعة العربية ١٩٧٩ . تصدر بالتعاون مع مؤسسة الأهرام بالقاهرة .



ISBN 3-540-09283-8

Springer - Verlag. Berlin. Heidlberg. New-York

تقديم لسلسة الكتب التخصصية الجديدة

تطورت طرق الإنتاج فى العشرين عاماً الأخيرة بسرعة ومن نواح عديدة فطرق الإنتاج الحديثة أتاحت إنتاج مصنوعات قيمة بأثمان مناسبة جعلتها فى متناول طبقات كثيرة من المشترين .

ونتيجة لاستعمال الماكينات والأدوات والمعدات بأعداد كبيرة فى نظام واسع للإنتاج ، مرن فى حدوده ، قابل للتطور والتغيير ، فإن « الورش » فقدت أهميتها التقليدية كمراكز للإنتاج الصناعى ، ولذلك فإن المحررين المهتمين بالموضوع ودار النشر التى عنيت باصدار سلسلة الكتب التى كانت أساساً مخصصة للورش والعاملين فيها ، وجدوا أنفسهم مضطرين إلى مسايرة التطور الحالى .

وتقدم سلسلة الكتب التخصصية « الإنتاج والمصنع » مجموعة الكتب التى كانت تظهر حتى عام ١٩٧٣ تحت عنوان « كتب الورشة » فى إطار جديد حديث .

والسلسلة الجديدة تركز اهتمامها على الاحتياجات اللازمة فى الدراسة والحياة العملية ، والوصف فيها بسيط مختصر يمكن فهمه دون الحاجة إلى معلومات سابقة كثيرة ويركز على التطبيقات العملية ، وهى تحوى ارشادات للتعمق فى الدراسة وفى بعض الأجزاء تظهر فى سلسلة « الإنتاج والمصنع » بعض الأبحاث المنشورة عن الأسس والنتائج العلمية والتجارب العملية فى تخصصات طرق الإنتاج والتنظيم الصناعى وتكنيك الإنتاج والتحكم والتنظيم والعدد والمواد والقياسات والاختبارات .

هامبورج يناير ١٩٧٤

هـ . ديترمان
ف . مالبرج

حـــول هـــذا الجـــزء

كتاب « الفلزات تحت (الميكروسكوب) المجهر » هو مقدمة ممتازة فى علم التركيب الداخلى للفلزات وميزة هذا الكتاب هى سهولة عرضه للموضوع فالتغيرات المعقدة فى التركيب على سبيل المثال أثناء المعالجة الحرارية أو التصلد على البارد ، والعلاقات بين التغيرات فى التركيب والتغيرات فى الخواص تتضح للقارئ بسهولة وهو يناسب كلا من المهندس أو الفنى كمرجع فى الحياة العملية والطالب فى المعاهد الفنية العالية أو المعاهد الفنية كمقدمة .

هامبورج يناير ١٩٧٤

هـ . ديترمان

ف . مالبرج

الفهـــــرس

مقـــدمـــة

الميتالوجرافى هى الجزء من علم الفلزات الخاص بفحصها بالعين أو مع التكبير البسيط وفحص التركيب الداخلى للفلزات تحت المجهر (الميكروسكوب) ، ولا يمكن تخيل تطور المواد المعدنية وضبط إنتاجها وتصنيعها دون الميتالوجرافى . ومن يعلم التغيرات المتعددة فى التركيب الداخلى للفلزات نتيجة إضافة عناصر أخرى أو التشكيل الميكانيكى أو المعالجة الحرارية أو الصدأ هو وحده القادر على أن يعرف عن طريق التركيب الداخلى تاريخ حياة قطعة من الفلز ، وعند إنهيارها يستطيع أن يثبت إن كان الخطأ ناتجاً من تصنيعها أو تشكيلها أو أثناء استعمالها .

والغرض من هذا الكتاب هو مساعدة المبتدئ فى تخطى الصعوبات عند ملاحظة والحكم على منحنيات إتزان السبائك وصور التركيب الداخلى لها ، وأن نمهد له الطريق لنوع من المعرفة المشوقة المتعددة الجوانب فى الحياة العملية . ولما كان هذا الكتاب يعتبر مدخلا لهذا العلم فقد روعى فيه أن يكون فى صورة مبسطة سهلة .

ويتناول هذا الكتاب بعض الأسس التى لا يمكن التعرف على أصل بعضها بشكل مؤكد . وفى الأحيان التى تتأكد فيها معرفة مصدر هذه الأسس فستذكر المصادر فى نص الكتاب أو كملحوظة أسفل الصفحات .

ومعظم الصور والأشكال فى هذا الكتاب أخذت من قسم الميتالوجرافى فى « مركز اختبار المواد الحكومى » التابع للمدرسة التخصصية العليا بهامبورج (1) وأما الصور الأخرى فيشكر على تقديمها السادة الدكتور هـ . كلينجله (شكل ١٣) ، الدكتور ف . ف . نوتينج (شكل ٦٠ ، ٦١) ، الدكتور ج . بتروف (شكل ٥٠ ، ٥٦) والدكتور ف . بنتش (شكل ١٢) ومركز صناعة الألومنيوم فى دسلدورف (شكل ٣٥) ، كذلك شركة بوهلر المحدودة فى إيفانستون III (شكل ١٠٧) ، شركة ارنست فتر وولده فى هامبورج (شكل ١١٢ ، ١١٣) ، شركة جين فرتسى فى دسلدورف ، (شكل ١١١) وشركة كارل زايس فى أوبركوخن (شكل ٤٧ ، ٨٩ ، ٩٠) .

ويقدم المؤلف شكره للسادة الأساتذة بالمدرسة التخصصية العليا بهامبورج والسيد الدكتور

---

(1) Staatlichen Materialprüfungsamtes an der Fachhochschule Hamburg.

ج.بتزوف من معهد ماكس بلانك لأبحاث المعادن فى شتوتجارت وكذلك جميع العاملات والعاملين بمركز اختبار المواد الحكومى بهامبورج لنصائحهم القيمة التى أدت إلى تحسين هذا الكتاب .

أولا : الفلزات النقية

١ ـ أصغر مكونات الفلزات

الفلزات عناصر كيماوية وتتكون كغيرها من العناصر من ذرات ويتحدد سلوك وخواص الفلزات عن طريق صفات ذراتها والقوى التى تعمل بين هذه الذرات .

وتتكون كل ذرة من نــواة محاطــة حسب التصورات العلمية الجديدة بسحابة متداخلة من الإلكترونات . وقد تكون هذه السحابة المحيطة بالنواة كروية وأحياناً أخرى تمتد فى اتجاهات مختلفة ويكاد يكون كل وزن الذرة مركزاً فى نواة الذرة التى تشغل جزءاً صغيراً من حجم الذرة ولتوضيح ذلك فإن النواة تشغل بالنسبة للذرة فى مجموعها ما يشغله رأس دبوس فى غرفة .

والإلكترونات عبارة عن جزيئات خفيفة جداً مشحونة بشحنة كهربية سالبة وحجمها يعادل تقريباً نواة الذرة بينما يعادل وزنها 1/1836 من وزن أخف نواة ذرة من الذرات .

وتتكون نواة الذرة المتناهية فى الصغر من البروتونات ، والبروتونات جزيئات مشحونة بشحنة كهربية موجبة ،وعلى ذلك فإن الذرة جميعها متعادلة بالنسبة لما حولها،والنيوترونات جزيئات متعادلة غير مشحونة بشحنة كهربية . وعــدد النيوترونات هو الذى يحدد العنصر ، وأخف العناصر هو الهيدروجين ويحوى بروتونا واحداً والكترونا واحداً ، وأثقلها فى الطبيعة هو اليورانيوم ويحوى 92 بروتونا و 146 نيوترونا و 92 الكترونا .

ويتراوح قطــر الذرة حسب طبيعــة العنصر بــين 2 إلى Å5 (وحـــدة الأنجستروم $Å = 10^{-8}$ cm = 1/100000000 cm) وإذا صففنا أربعين مليون ذرة متوسطة الحجم بجوار بعضها فستعطينا صفاً طوله سنتيمتر١ واحدا١ .

وحتى نفهم المادة التى نتناولها هنا يكفى أن نتخيل أن الذرات عبارة عن كريات مرنة تلتصق وتنزلق مارة ببعضها ، ويمكن عن طريق قوى خارجية ضغطها مع بعضها ضغطاً مرنا(١) :

1- Mott, N.F. :Atomic Structure and the Strength of Metals, Braunschweig:Vieweg 1961.

٢ — تجمـــد فلز منصهر

إذا تخيلنا أنه بمكننا ملاحظة ذرات فلز منصهر يبرد تدريجياً ، فماذا سيجرى أمام أعيننا .

مازال كل شئ سائلا وللذرات حرية حركة كبيرة ، وتتحرك بسرعة هنا وهناك ، وطاقة حركة الذرات مصدرها الحرارة التى تستخدم للاحتفاظ بالفلز سائلا .

فإذا أبطلنا مصدر الطاقة التى تعطى الحرارة للفلز المنصهر فإن الفلز المنصهر سيفقد الحرارة إلى المنطقة المحيطة به الأبرد منه فتنخفض درجة حرارته بالتدريج ، وعليه فإن طاقة حركة الذرات تقل هى الأخرى بالتدريج .

وفى فلز منصهر يتبلور فى مكعبات (الحديد على سبيل المثال) ستترتب الذرات الموجودة فى أماكن مناسبة لبعضها إلى مكعبات صغيرة وعلى هذه المراكز (أجنة) ستترتب الذرات السائحة فى الفلز المنصهر نفسها فى مكعبات صغيرة أخرى وعندما ترتب ذرة نفسها فى مكعب صغير فإنها تفقد كمية الحرارة التى لزمت لانصهارها من قبل بالضبط والتى كانت مطلوبة لخلع الذرة عن مسارها (حرارة التجمد) .
وتتكرر نفس العملية فى أماكن أخرى من الفلز المنصهر فعلى البللورات الصغيرة ، كما تسمى هذه المكعبات من الآن فصاعداً ، تبنى الذرات مكعباً بعد الآخر وتفقد الحرارة . (الشكل رقم ١) (١) .
وستظل درجة الحرارة التى انفصلت أو تجمدت عندها أول بللورة ثابتة ، وذلك بسبب كمية الحرارة التى تفقد أثناء بناء الذرات لهذه البللورات على الرغم من إننا لا نسخن الفلز المنصهر وأنه يفقد بعض الحرارة إلى المنطقة المحيطة به . فكمية الحرارة التى تعطيها الذرات أثناء تكوين البللورات تغطى كمية الحرارة المفقودة وكمية الحرارة اللازمة للاحتفاظ بالمعدن عند درجة الحرارة المذكورة .

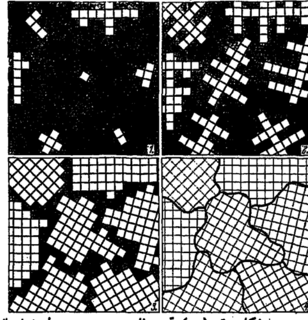
ولا تنمو البللورات بإنتظام فى جميع الجهات فإنها تفضل اتجاهات معينة مرتبطة ببنائها واتجاه التبريد (فقد الحرارة) وينشأ عن ذلك أولا أشكال تشبه شجرة الصنوبر تسمى « دندريت » (٢) ثم تمتلئ الفراغات بين أفرع الدندريت وتكبر البللورات بانتظام حتى تصطدم ببعضها فيتعطل بعضها عن مواصلة النمو ، والمساحات المرتبة لأسطح البللورات المكونة ستفقد انتظامها وترتيبها تبعاً لذلك ، وتصل بعد ذلك إلى أقل حالة طاقة ممكنة ، وهى طاقة الحالة الصلبة ، وتنخفض بعد ذلك درجة الحرارة حتى تصل درجة حرارة الفلز المتجمد إلى درجة حرارة الجو المحيط به .

ولما كانت قوالب الفلز المصبوبة تنكمش أثناء تبريدها فيحدث أحياناً أن يهبط باقى الفلز المنصهر فى وسط القالب المصبوب قبل أن تمتلئ الفراغات بين أفرع الدندريت فى الامتلاء بالبللورات المتجمدة

---

(١) هذا الشكل رسم باقتراح وتصور من السيد ف . روزنهاين .
(٢) مصدرها اللغة اليونانية حيث دندرون تعنى شجرة .

وعندئذ ينشأ فراغ وسط القالب المصبوب تظهر فيه أفرع الدندريت كأشجـــار الصنوبر الصغـــيرة (شكل رقم ٢).



شكل رقم (١) تجمد فلز منصهر : حول نواة التبلور تنشأ البللورات الأولى (١) التى تنمو بالتدريج (٢) ، (٣) حتى تتلامس وتتزاحم بعضها وينتج عن ذلك مساحات غير منتظمة الحدود (٤) .

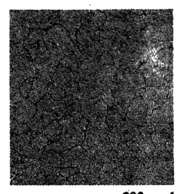


1 : 1

شكل رقم (٢) ظهور أفرع الدندريت داخل الفراغ وسط قالب الحديد المصبوب نتيجة هبوط باقى الفلز المنصهر .

وعند فحص الفلزات تحت المجهر الضوئى تظهر خطوط الحدود غير المنتظمة التى نشأت عند آخر مراحل التجمد وتسمى حدود الحبيبات ، والبناء الذرى لهذه البللورات يمكن تعيينه بالفحص الدقيق بواسطة أشعة إكس أو بأشعة الإلكترونات أو النيوترونات .

ولتمييز البللورات التى لا تنمو بانتظام، نتيجة مزاحمتها لبعضها أو نتيجة عوامل خارجية عن البللورات المثالية تستعمل كلمة كريستاليت أحياناً للتعبير عن البللورات الحقيقية التى لا يبدو أن لها شكلا منتظماً ، وعموماً تستعمل كلمة حبيبات فى الحياة العملية للتعبير عن الكريستاليت (أى الحبيبات) والتى يشار إليها عموماً بالتركيب الداخلى . وعلى سبيل المثال يظهر فى شكل (٣) التركيب الداخلى لحديد والخطوط الداكنة المحيطة بالحبيبات هى حدود الحبيبات التى تظهر فى الجزء الرابع من شكل (١) كحدود غير منتظمة .

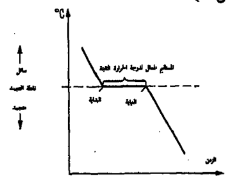


200 : 1

شكل رقم (٣) التركيب الداخلى لحديد النقى .

٣ ــ منحنيات التبريد

إذا أعيدت عملية التبريد السابق وصفها كتجربة عملية ، فبوضع مقياس حرارة داخل الفلز المنصهر وقراءة درجات حرارته على فترات قصيرة منتظمة أثناء تبريده ، وتوقيع نقاط القراءات المزدوجة للزمن ودرجة الحرارة على شكل بيانى ، فعند توصيل هذه النقاط ببعضها ينشأ ما يسمى فى هذه الحالة منحنى التبريد للفلز المفحوص (شكل ٤)



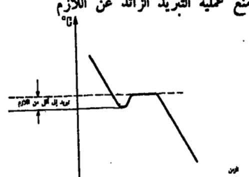
شكل (٤) منحنى تبريد فلز نقى

ويبين الجزء المائل من المنحنى أولا أن الفلز المنصهر يبرد بانتظام وعندما تتكون البلورات الأولى وتفقد ذراتها حرارة التجمد إلى ما حولها تبدأ درجة الحرارة فى الثبات ، وتشع البوتقة المحتوية على الفلز المنصهر كميات أخرى من الحرارة إلى ما حولها ، وتعادل حرارة التجمد كمية الحرارة التى تفقد ، وعليه فستظل درجة الحرارة ثابتة حتى يتجمد باقى الفلز المنصهر ، ولذلك يظهر فى المنحنى عند درجة حرارة التجمد نقاط توقف مكونة الخط الأفقى الممثل لدرجة حرارة التجمد ، وبعد نهاية التجمد تنخفض درجة الحرارة (وكذلك المنحنى) بنسبة الحرارة التى تفقد من الفلز الساخن المتجمد .

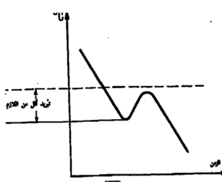
ويحدث أحياناً عند تجمد بعض الفلزات النقية ، وخاصة فى حمامات الصهر لكميات صغيرة سريعة التبريد ، وفى حالة عدم وجود اهتزازات (الاهتزازات تساعد على تكون نواة التبلور) ، يحدث ألا تستطيع الذرات أن تكون نوايات تبلور فى الوقت المناسب فتنخفض درجة الحرارة إلى أقل من درجة حرارة التجمد حتى يحدث فجأة أن تبدأ عملية التبلور ، على سبيل المثال نتيجة هزة صغيرة ، وتستمر عملية التبلور بسرعة حتى تعوض الزمن الضائع وتفقد الذرات ،التى ترتب نفسها فى بللورات، كمية كبيرة من الحرارة لدرجة أن درجة الحرارة التى انخفضت عن درجة حرارة التجمد ترتفع ثانية حتى درجة حرارة التجمد ، وتستمر باقى عملية التجمد كما فى شكل (٤) وتظهر على منحنى التبريد ، حيث انخفضت درجة الحرارة عن درجة حرارة التجمد ، حنية مبينة عملية التبريد إلى أقل من اللازم عند البدء فى التجمد شكل (٥) .

ويحدث أحياناً عند تبريد كميات صغيرة جداً من الفلزات المنصهرة أن تفقد حرارتها بسرعة لدرجة أن عملية التبلور التى تبدأ متأخرة لا تستطيع اللحاق بعملية فقد الحرارة ولا تصل درجة الحرارة ثانية إلى درجة حرارة التجمد الحقيقية للفلز والمنحنى الناتج فى مثل هذه الحالات،شكل (٦)،غير صالح لتحديد درجة حرارة التجمد .

ويمكن عن طريق التبريد ببطء أو تحريك أو هز الفلز المنصهر أو إضافة نوايات تجمد (تطعيم) له، منع عملية التبريد الزائد عن اللازم



شكل (٥) منحنى تبريد يوضح تبريداً إلى أقل من اللازم بدرجة خفيفة . وترتفع درجة الحرارة ثانية إلى درجة حرارة التجمد .



شكل (٦) منحنى تبريد فيه تبريد شديد إلى أقل من اللازم ولم تعد درجة الحرارة إلى درجة حرارة التجمد .

٤ ــ مجهر الفلزات

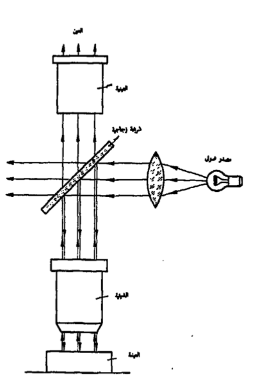
قبل محاولة التغلغل فى التركيب الداخلى للفلزات يستحسن وصف معمل للميتالوجرافى من خلال زيارة قصيرة ودراسة كيفية إعداد عينة من الفلز حتى يمكن عمل صور لتركيبها الداخلى .

ويبدأ إعداد العينة بقطع قطعة من الفلز صغيرة بحيث يمكن امساكها باليد ، ثم تجلخ باليد باستعمال ورق صنفرة أنعم فأنعم ثم تلميعها بالألومنيا أو باستخدام الطرق الإليكتروليتية حتى تظهر فيها مساحة ناعمة لامعة كالمرآة ويسمى الميتالوجراف العينة المجهزة بهذه الطريقة عينة ميتالوجرافية ، ويمكن إظهار التركيب الداخلى باستخدام محاليل النمش التى يختار منها الأكثر صلاحية لنوع العينة المستخدمة .

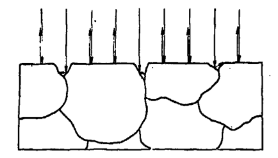
ولما كانت العينات المعدنية عموماً غير شفافة فلا يمكن للميتالوجراف مثل الأطباء أو علماء الأحياء أن يستعمل الضوء المار من خلال العينة ، ولذلك فالمجاهر المستعملة فى الميتالوجرافى تستخدم الضوء الساقط على العينة ومصممة بحيث يسقط الضوء رأسياً على العينة أولا ثم يلاحظ التركيب الداخلى عن طريق الضوء المنعكس من العينة .

ويظهر فى الشكل رقم (٧) تركيب مجهر الفلزات بتبسيط شديد حيث يمر الضوء المنبعث من مصدر ضوئى خــلال عدسة ويوجه على شريحة زجاجية تميل على الضوء الساقط بزاوية 45° وينفذ جزء من الضوء خلال الشريحة الزجاجية ، بينما يوجه الباقى رأسيا إلى أسفل ويسقط من خلال عدسة شيئية على السطح اللامع للعينة ويعكس سطح العينة الناعم اللامع الضوء خلال العدسة الشيئية وشريحة الزجاج إلى العدسة العينية التى تستخدم فى رؤية العينة . والصورة المكبرة عن طريق العدسة الشيئية لسطح العينة ستكبر مرة أخرى عن طريق العدسة العينية . وباستخدام عدد يمكن تغييره من العدسات الشيئية والعينية يمكن أن يصل التكبير فى مجهر الفلزات ما بين 2000 ــ 10 مرة .

كيف تنشأ إذن صورة التركيب الداخلى فى الضوء المنعكس ؟ العينة غير المنمشة تعكس الضوء بانتظام ، وسنلاحظ أن ما تراه العين سينير جداً إذا ما أدخلنا العينة تحت العدسة الشيئية . والشوائب التى تحويها أية عينة عادية ، كذلك بعض أجزاء التركيب الداخلى مثل الجرافيت فى الحديد الزهر لها

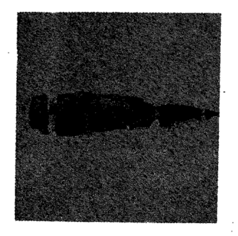


شكل (٧) رسم مبسط لمسار الضوء فى مجهر الفلزات .



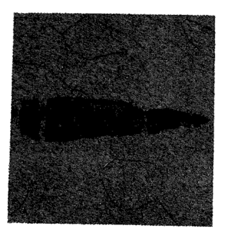
شكل (٨) انعكاس الأشعة الضوئية على عينة منمشة حدود الحبيبات .

قدرة أقل على عكس الضوء عن الفلز نفسه ، ولذلك ستعكس أثناء وجودها تحت الشيئية كمية أقل من الضوء عن باقى أجزاء سطح العينة ، ولذلك يمكن رؤيتها حتى قبل تمشها ويمكن تمييزها فى العينة غير المنمشة عن باقى الأجزاء الأخرى التى تظهر أفتح بكثير ، أى يمكن حتى أن تكون الأجزاء المعنية أوضح فى العينة غير المنمشة عن العينة المنمشة شكل (٩) وتغطس العينة بعد تلميعها من الوجه الملمع



400 : 1

شكل (٩) شوائب (خبث) فى عينة حديد غير منمشة .



400 : 1

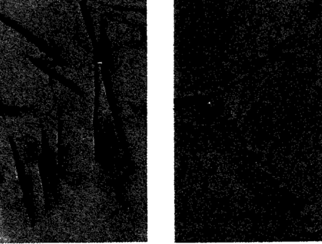
شكل (١٠) نفس العينة بعد تنميشها بمحلول 2% حامض نتريك كحولى وقد ظهرت حدود الحبيبات .

فى محلول النمش وبالنسبة لعينات الحديد فى الأشكال (٣) ، (١٠) استعمل محلول 2% حامض نتريك كحولى . وبعض مواد النمش والتى تسمى محاليل نمش حدود الحبيبات تتفاعل بشدة حيث يكون هناك خلل فى انتظام التركيب ، وهذا موجود دائماً حيث زاحمت البلورات بعضها أثناء التجمد ، ولذلك فإنه عند حدود الحبيبات سينشأ ما يمكن أن نبالغ فى وصفه فنقول « قنوات » نتيجة التفاعل مع محلول النمش شكل (٨) . وهذه العملية ستزيد عند وجود شوائب دقيقة والتى تتجمع عادة على حدود الحبيبات. والأشعة الضوئية التى تسقط فى هذه القنوات لن تنعكس بعد ذلك رأسياً بل ستغير اتجاهها، ولذلك فإن المشاهد سيرى حدود الحبيبات خلال العدسة العينية غامقة ويصبح التركيب الداخلى مرئياً شكل (١٠) .

وهناك بجانب محاليل نمش حدود الحبيبات محاليل أخرى لنمش أسطح الحبيبات وأخرى تتفاعل مع بعض أجزاء التركيب الداخلى أو تلونه .

وللتكبير أكثر من 2000 مرة فإن الأشعة الضوئية غير مناسبة ، ولذلك تستعمل الإلكترونات ، التى تشع بسرعة من سلك تنجستن مسخن كهربياً (كاثود أو مهبط) وترسل مسرعة تحت تأثير جهد عال عبر أنود (مصعد) على شكل فتحة ضيقة ومشحون بشحنة موجبة .

ويمكن تغيير اتجاه الإلكترونات خلال مجال كهربى أو مغناطيسى ، ولذلك فيمكن جمع أو تفريق الأشعة الإلكترونية بواسطة المكثفات والملفات (عدسات الكترونية) تماماً كما تفعل العدسات الزجاجية بالأشعة الضوئية فى المجهر الضوئى .

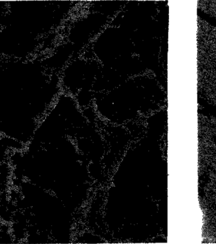


15000 : 1

شكل (١١) صورة مأخوذة بالأشعة الالكترونية لعينة محضرة بترسيب بخار الكربون والبلاتين وتظهر فيها كربيدات تحوى نسبة عالية من الكروم على حدود الحبيبات لصلب كروم – نيكل أو ستنيتى .

20000 : 1

شكل (١٢) جزيئات من النتريدات فى الحديد . صورة مباشرة بالأشعة الإلكترونية .



1200 : 1

شكل (١٣) صورة لكسر فى صلب عادى قليل الكربون مأخوذة باستعمال المجهر الإلكترونى .

الأشكال (١١ – ١٣) صورة مأخوذة باستعمال المجهر الإلكترونى .

ولفحص العينات بالمجهر الإلكترونى بطريق اختراق الأشعة للعينة (الأشكال من ١١ إلى ١٣) تجهز « ضبعة » (صورة) رقيقة جداً ممثلة تماماً لسطح العينة اللامع بتكثيف طبقة رقيقة من بخار الفحم فوقها أو من دهان سريع الجفاف . وحتى يزداد التباين على هذه الضبعة (الصورة) أو الشريحة المكونة من بخار الفحم المكثف أو الدهان السريع الجفاف يرسب عليها فى جو مخلخل طبقة رقيقة من بخار فلز ثقيل كالبلاتين أو الكروم . ولكثير من الفحوص فإن هذه الشرائح التى تخترقها الأشعة مناسبة تماماً إذا صنعت من قطع رقيقة من الفلز ثم شطبت بترقيقها عن طريق الترسيب الكهربى أو بالطرق الكيماوية(١) .

ومجهر الإنبعاث الإلكترونى يتيح ملاحظة سطح العينة مباشرة ، حيث يمكن عن طريق التسخين أو قذف أيونات على سطح العينة اللامع مما يجعل السطح يعكس الكترونات يمكن زيادة سرعتها باستعمال ضغط عال والتقاطها من خلال عدسات الكترونية على الشاشة .

وهناك تطور خاص للمجهر السابق هو ميكروسكوب راستر الإلكترونى حيث يسقط على سطح العينة الكترونات أولية على شكل سطور ،وتشكل الإلكترونات الثانوية المشعة من العينة والإلكترونات الأولية الموجهة فى الاتجاه العكسى من العينة ، عن طريق مرورها عبر بللورة السنتيلاسيون ومكبر الصورة ولمبة اشعاع المهبط ، صورة على الشاشة وهذا الجهاز مناسب لفحص الكسور فى الفلزات نظراً لقدرته على اظهار التباين فى العمق (شكل ١٣) .

وباستعمال أجهزة إضافية للمجهر الإلكترونى يمكن اسقاط شعاع الكترونى دقيق على أجزاء التركيب الداخلى للعينة.والتحليل الطيفى يعطى بيانات عن التركيب الكيماوى لأجزاء التركيب الداخلى .
وفى المصانع تستعمل المجاهر الضوئية غالباً وتستخدم المجاهر الإلكترونية لفحص الظواهر المعقدة فى التركيب الداخلى مثل الترسيبات أو العيوب فى الهيكل البللورى التى كثيراً ما تكون من الدقة بحيث لا يمكن للمجهر الضوئى رؤيتها .

٥ — انصهار فلز متجمد

الذرات المرتبة فى بللورات الفلزات المتجمدة لا تظل ثابتة فى مكانها عند درجة حرارة الجو بل هى فى حالة ذبذبة مستمرة يتوقف مداها على درجة الحرارة أما ثبات الذرات فسيكون عند درجة حرارة الصفر المطلق (—273°C).

وعندما نسخن الفلز تزداد طاقة حركة ذراته وتتذبذب بشدة ، والذرات المتذبذبة تحتاج إلى حيز أكبر لحركتها مما يبعدها عن بعضها وهذا هو سبب تمدد المواد عند تسخينها ،

1. Guy, A.G. : Petzow, G. : Metallkunde für Ingenieure, Frankfurt/Main: Akademische Verlagsgesellschaft 1970

وحيث أن البللورات أثناء تكوينها عند تجمد الفلز المنصهر تزاحم بعضها مما يجعل تكوينها غير منتظم ، فإن الذرات عند حدود الحبيبات تكون فى وضع اضطرارى وتحاول الإفلات منه ، وذلك فعند التسخين تكون الذرات عند حدود الحبيبات أكثر استعداداً لترك مكانها عن الذرات الموجودة داخل الحبيبات . وعند الوصول إلى درجة حرارة الإنصهار فإن الذرات عند حدود الحبيبات تحل نفسها من التماسك قبل غيرها ثم تتبعها باقى الحبيبات بزيادة الحرارة ويكون للفلز عندئذ حجم معين ولكن فقد شكله أى انصهر .

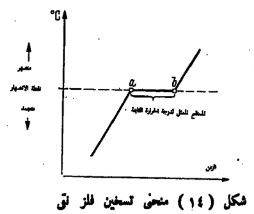
وإذا استمر التسخين أى مد الفلز المنصهر بطاقة حرارية إضافية فإن التماسك بين الذرات سيتلاشى نهائياً ، أى سيبدأ الفلز فى التبخر ، وتتطاير الذرات حرة فى الفراغ حيث تتحرك مستقلة عن بعضها ويصل الفلز إلى أعلى درجات طاقته ويمكنه ملء أى فراغ فقد أصبح بخاراً .

٦ ـــ منحنيات التسخين

إذا سخن فلز وسجلت درجات الحرارة عند فترات زمنية منتظمة فسيحدث ما يشابه ما حدث عند تجمد الفلز المنصهر فعلى الرغم من كمية الحرارة المضافة فإن درجة الحرارة ستظل ثابتة عند درجة حرارة الإنصهار حتى تذوب آخر بللورة موجودة وتستخدم الطاقة الحرارية كلها فى إذابة البللورات (تغيير الحالة) ، ومنحنى التسخين (شكل ١٤) هو صورة لمنحنى التبريد لنفس الفلز .

والظواهر التى تصاحب التبريد الزائد عن الحد أثناء تجمد الفلز لا يظهر مثيلها عند الإنصهار .

فالفلز المتجمد على وشك الإنصهار عند نقطة (أ) يحوى كمية أقل من الحرارة عن التى يحويها الفلز المنصهر عند النقطة (ب) والفرق بين كميتى الحرارة مقسوماً على وحدة الكتلة هو الحرارة اللازمة لإنصهار الفلز .



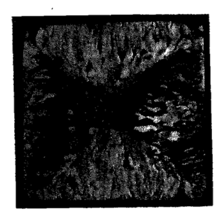
شكل (١٤) منحنى تسخين فلز نقى

٧ ـــ عملية التبلور

إذا صبت الفلزات المنصهرة فى قالب فستتكون على جدران القالب بللورات كثيرة صغيرة نتيجة لبرودة القالب ، وستتكون قشرة خارجية من الحبيبات الدقيقة ، ثم تبطئ عملية التبلور . وباستمرار التبريد تنمو البللورات اتجاهياً على شكل سيقان فى اتجاه الداخل وعكس اتجاه فقد الحرارة داخل القالب . ونتيجة لإزدياد سمك الجدار المكون من البللورات المتكونة وانخفاض الفرق فى درجة الحرارة بين

القالب وما يحيط به ، يبطئ فقد الحرارة وتتوقف عملية نمو البللورات اتجاهياً على شكل سيقان ويتجمد باقى الفلز المنصهر داخل القالب إلى بللورات عفوية غير متجهة .

وشكل (١٥) يبين عملية التبلور هذه بالنسبة لقالب زنك مصبوب وفى الحياة العملية فإن نمو البللورات اتجاهياً غير مرغوب فيه خصوصاً عندما تمكث كثيراً داخل القطعة المصبوبة ، فالشوائب التى توجد فى كل فلز صناعى لا تكون ضارة إذا وزعت بانتظام على كل التركيب الداخلى ، ولكن فى عملية التبلور فى اتجاه واحد تترسب الشوائب بين البللورات وخصوصاً فى القوالب ذات المقطع المربع فى اتجاه القطرين مما قد يؤدى إلى أن تتكسر مثل هذه القوالب أثناء التشكيل بالدرفلة أو السحب والطرق عند القطرين .



1 : 1
شكل (١٥) تبلور اتجاهى فى مقطع قالب صغير من الزنك المصبوب

وهناك بعض الحالات يتعمد فيها أن يحدث تجمد ذو تبلور اتجاهى حيث يمكن تحسين الخواص المغناطيسية للمواد للمغناطيسات الدائمة التمغنط ، حيث تتكون بللورات فى أشكال عودية . ويجهز القالب بحيث يكون اتجاه التجمد الموجه عودياً على الاتجاه المراد وضع القطعة المصبوبة منه فى المجال المغناطيسى ، ولهذا الغرض يستخدم قالب مفتوح من مادة رديئة التوصيل للحرارة ويوضع فوق لوح تبريد من الصلب أو النحاس (١) .

٨ ـــ حجم الحبيبات وقوة الفلز

من السابق ذكره يمكن التوصل إلى الشروط التى تتبع كى يتجمد فلز منصهر إلى تركيب داخلى دقيق الحبيبات مكون من كثير من البللورات الصغيرة ، وتحت أية شروط يمكن أن يتكون تركيب داخلى كبير الحبيبات مكون من قليل من البللورات الكبيرة .

وعندما يتجمد فلز منصهر ببطء فتجد الذرات وقتاً كافياً أثناء تكوين البللورات حتى أنه سيوجد بعض منها فى مواقع مناسبة لبعضها لترتب نوايات التبلور وسيختار معظمها الطريق السهل وينضم إلى نوايات التبلور الموجودة ، ولذلك سيتكون قليل من البللورات التى تجمعت مع بعضها مكونة تركيبا داخلياً كبير الحبيبات .

1. Gould, J.E. : Magnete mit säulenförmiger Kristallisation. Kobalt Nr. 23 Juni 1964, Kobalt-Information Düsseldorf.

أما عندما يبرد فلز منصهر بسرعة فإن الذرات لا تستطيع التجول والبحث عن نوايات تبلور موجودة ، ولذلك فعدد كبير منها فى مواضع كثيرة سيرتب نفسه كنوايات تبلور . والبللورات النامية عند نوايات التبلور هذه ستزاحم بعضها بسرعة وتكون تركيباً داخلياً دقيق الحبيبات .

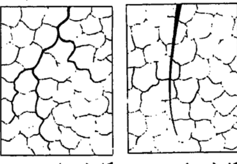
وتحتوى الفلزات عادة على الكثير أو القليل من الشوائب ، وهذه الشوائب تعمل كمصائد للتبلور الأول.والفلز المنصهر الغنى بمثل هذه النوايات الغريبة سيتجمد تحت هذه الظروف إلى تركيب داخلى دقيق الحبيبات ، ولذلك فإن الشوائب ليست دائماً غير مرغوبة حتى إنه يمكن بالتدبير الماهر إنتاج نوايات غريبة ليس لها تأثير ضار على الخواص الأخرى لإنتاج صلب دقيق الحبيبات .

وحجم حبيبات الفلز بعد التجمد يعتمد على عدد نوايات التبلور التى يحويها وسرعة تبريده .

والتركيب الداخلى دقيق الحبيبات يتميز عن كبير الحبيبات عند درجات حرارة الجو العادية بخواص القوة ، ولذلك فغالباً يكون مطلوبا . إذن كيف يمكن توضيح خواص القوة للتركيب الداخلى الدقيق الحبيبات ؟ فلنعد بذاكرتنا إلى الوراء ونرى فى مخيلتنا مراحل تجمد الفلز المنصهر فنرى كيف أن البللورات فى الفلز المنصهر تنمو على بعضها وفى النهاية تكون مساحات حدود تظهر تحت المجهر كحدود الحبيبات .

وبناء البللورات عند مساحات الحدود مختل نتيجة مزاحمة البللورات لبعضها عند النمو ، وأماكن الخلل هذه لها قوة كبيرة بالنسبة للأجزاء الأخرى العادية فى الجزء الداخلى للبللورة ، نتيجة الحالة الإضطرارية التى تتواجد فيها ذراتها ، والمادة عند حدود الحبيبات فى الفلزات النقية هى أقوى جزء فى الحبيبات . ولما كان لنفس الحجم من المعدن النقى ذى التركيب الداخلى دقيق الحبيبات حدود حبيبات أكثر منه إذا كان ذا تركيب داخلى كبير الحبيبات فإنه سيكون أكثر قوة فى الحالة الأولى عنه فى الحالة الثانية ، ولذلك فإنه عند التحميل أكثر من اللازم عند درجات حرارة الجو فإن الشروخ الناتجة التى تسير فى اتجاه تلقى أقل مقاومة ، ولذلك فإنها تستمر داخل البللورات وتسمى شروخ عبر البللورات (شكل ١٦) .

أما فى درجات الحرارة الأعلى فستكون ذرات حدود الحبيبات أكثر حركة ويمكنها ترك وضعها الإضطرارى . ولذلك تصبح القوة عند حدود الحبيبات أقل ، فإذا انكسرت قطعة من المعدن عند درجات حرارة أعلى نتيجة تحميل أكثر من اللازم فإن الشرخ يتبع الطريق الأقل مقاومة وهو عندئذ حدود الحبيبات .وينشأ شرخ بين البللورات يتبع مساره حدود الحبيبات بين البللورات وبعضها .

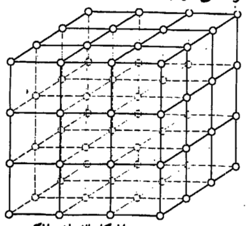


شكل (١٦) شرخ عبر البللورات . شكل (١٧) شرخ بين البللورات .

وهذه الخواص تشترك فيها أساساً كل الفلزات النقية . أما السبائك والفلزات غير النقية ، فإنها كثيراً ما تتبع ظواهر أخرى بسبب الشوائب أو الترسيبات على حدود الحبيبات مثلا .

٩ ــ نظم تبلور الفلزات

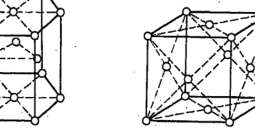
يتكون الفلز المتجمد من الحالة السائلة من بللورات كما ذكر من قبل ، والفلزات من المواد التى ترتب ذراتها نفسها فى الحالة الصلبة فى هياكل فراغية (شكل ١٨)على العكس من المواد غير المتبلورة حيث توجد الذرات بدون ترتيب بجوار بعضها .



شكل (١٨) جزء من الهيكل الفراغى المكعب

وكل هيكل فراغى مكون من عدد من الخلايا الأولية ، أصغر الخلايا التى تعطى دلائل هذا الهيكل ، وحسب شكل الخلية الأولية يسمى النظام البللورى . ومن السبعة نظم البللورية المعروفة فى الطبيعة قبل كل شئ يأتى فى المقدمة بالنسبة للفلزات،نظاما المكعب والسداسى .

والفلزات التى تتبلور حسب هذين النظامين ليست هى أبسط الأشكال ، فخلاياها الأولية تحوى بجانب الذرات فى الأركان ذرات فى منتصف مركز الهيكل الفراغى ــ مكعب ذو ذرة فى المركز (شكل ١٩) أو ذرات فى منتصف أوجهه ــ مكعب ذو ذرات فى منتصف أوجهه والأخير هو الأكثر شيوعاً بين الفلزات (شكل ٢٠) .



شكل (١٩) مكعب ذو ذرة فى المركز مثل الكروم والحديد (تحت 911°C) والمولبدنيوم والتنتال والوولفرام (التنجستن)

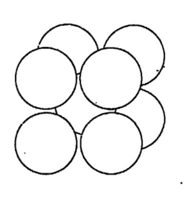
شكل (٢٠) مكعب ذو ذرات فى منتصف أوجهه مثل الألومنيوم الرصاص ، الذهب ، الحديد (فوق 911°C) الإيريديوم ، الكالسيوم ، النحاس والنيكل والبلاتين والفضة .

شكل (٢١) النظام السداسى أكثرها كثافة مثل البريليوم والكادميوم ، والماغنيسيوم والتيتانيوم والزنك .

الأشكال (١٩) الى (٢١) الخلايا الأولية لأكثر الهياكل الفراغية شيوعا فى الفلزات .

والهيكل السداسي يظهر فى الفلزات بحيث يكون بين المستويين ذوى الست زوايا مستوى فيه ثلاث ذرات .

وهكذا يتكون الهيكل السداسي ، أكثر الهياكل كثافة (شكل ٢١) .

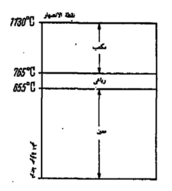


شكل (٢٢)
خلية أولية ذات ذرة فى المركز ممثلة كمجموعة من الكرات

وعلى هذه الوتيرة فإن الدوائر فى الأشكال تعطينا المكان المتوسط للذرة والخطوط الموصلة بين الدوائر توضح شكل الخلايا الأولية ويظهر فى (شكل ٢٢) تصور أقرب إلى الواقع حيث رسمت الذرات (قلب الذرة + مدارات الإلكترونات) على شكل كريات .

وأطوال أضلاع أحرف الخلايا الأولية ، أى المسافة بين المكان المتوسط لذرة والمكان المتوسط لذرة أخرى هى ثوابت الهيكل الفراغي وهذه المسافات الصغيرة تقاس بالانجستروم ومسافة الهيكل الفراغي لحـــديد 2.87Å ، النحاس 3.62Å ، والرصاص 4.95A وذلك عند درجة حرارة الجو العادية .

وهناك فلزات تختلف هيكلها الفراغي عند درجات الحرارة المختلفة ، وهذه الأشكال المختلفة لنفس الفلز تعرف بـ «ألوتروبى»(١) أى ظواهر تعدد أشكال الهياكل الفراغية واختلافها للبلورات .



شكل (٢٣) تعدد الأشكال الفراغية لبلورات اليورانيوم .

فاليورانيوم على سبيل المثال يغير ترتيب ذراته مرتين أثناء تسخينه من درجة حرارة الجو حتى انصهاره – وبالعكس عند التبريد – أى يظهر فى ثلاثة أشكال من الهياكل الفراغية (شكل ٢٣) . بمعنى أنه فى المفاعلات ذات درجات الحرارة العالية فى كل مرة تتخطى فيها درجة حرارة التغير فإن ذرات عنصر الإحتراق تعيد ترتيب نفسها ، بمعنى أن أعمدة الإحتراق تستطيل باستمرار ، ولتجنب الحوادث الناتجة عن تغير أعمدة الإحتراق المصنوعة من اليورانيوم تصنع هذه الأعمدة بحيث يوجد اليورانيوم فى حبيبات دقيقة موزعة فى فلزات مثل الألومنيوم أو يستعمل اليورانيوم مخلوطاً مع مادة أخرى غير معــد نية مثل أوكسيد أو كربيد أو نتريد اليورانيوم .

---

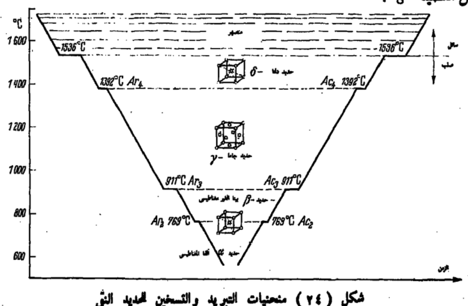
(١) من اليونانية، مختلف ، مضاد = Allo ، أشكال مختلفة = Allotrop (بالمقارنة متساوى = Iso) أى أشكال متعددة متغيرة .

١٠ ــ تغيرات الحديد النقى

عندما يتغير التركيب البللورى فى الحالة المتجمدة فإنه إما أن تستهلك حرارة أو تنتج حرارة ، حسب ما إذا كان ذلك يحدث أثناء التسخين أو التبريد . ولذلك فى الفلزات التى تتغير فيها الأشكال الفراغية للبللورات تظهر درجات الحرارة التى تعيد عندها ذرات الهيكل الفراغى ترتيب نفسها كنقاط توقف تحت درجة حرارة الإنصهار ، وعلى سبيل المثال يبين (شكل ٢٤) منحنيات تبريد وتسخين الحديد النقى .

ولو تابعنا مسار منحنى التبريد نجد أن نقطة التوقف الأولى عند 1536°C وهى درجة حرارة تجمد الحديد النقى وكمية حرارة لإنصهار التى تنتج هنا تحفظ درجة حرارة الفلز المنصهر فى نفس المستوى حتى تتبلور أخر نقطة من الفلز السائل . وبعد التجمد تكون كل حبيبات الحديد النقى مكونة من مكعبات ذات ذرات فى المركز طول بعد ضلعها 2,93Å ويرمز لهــذه المكعبات بالحرف اليونانى δ دلتا .

والحديد فى الفصيلة دلتا δ يظل موجوداً مع استمرار التبريد حتى درجة حرارة 1392°C حيث تظهر نقطة توقف جديدة يتحول عندها الحديد من الفصيلة δ المكعبة ذات الذرات فى المركز إلى مكعبة ذات ذرات فى منتصف الأوجه طول بعد ضلعه 3,68Å . والمكعبات المتكونة ذات الذرات فى منتصف الأوجه تسمى γ (جاما) ويسمى الحديد فى درجات الحرارة الأقل من 1392°C حديد من الفصيلة γ .



شكل (٢٤) منحنيات التبريد والتسخين لحديد النقى

وتبرد العينة بعد ذلك لوقت طويل دون حدوث أى تغير سوى انكماش فى الحجم حتى درجة حرارة 911°C حيث تظهر نقطة توقف أخرى مرة أخرى ويتغير تركيب الفصيلة جاما γ التى

تداخلت ذرات هيكلها حتى أصبح طول ضلع المكعب عندئذ 3.63 Å وتتحول إلى فصيلة المكعب ذى ذرة فى المركز . والمكعبات الناتجة عند 911°C ذات الذرة فى المركز تسمى فصيلة ألفا وطول ضلعه عند 911°C2,90 Å تصل عند درجة حرارة الجو العادية 2.86Å .

والحديد فى الفصيلة ألفا α يختلف عن الحديد فى الفصيلة δ دلتا فى طول ضلع المكعب فقط ويعزى طول ضلع الفصيلة دلتا δ الأطول إلى أنه عند درجة الحرارة العالية تكون ذبذبات الذرات أطول ولذلك تحتاج إلى مسافات أكبر عنها فى درجات الحرارة المنخفضة عندما يكون الحديد من فصيلة α.

والتدرجات فى المنحنى التى يحدث عندها التغير فى الحالة الصلبة أقصر من التدرج الذى يحدث عند التجمد نتيجة صغر كمية الحرارة الناتجة عند التغير فى الحالة الصلبة عن تلك الناتجة أثناء التجمد من الحالة السائلة .

ومنحنى التسخين للحديد النقى هو كما فى كل الفلزات صورة مماثلة لمنحنى التبريد فكعبات الحديد فى الفصيلة α ألفا ذات الذرة فى المركز تتغير عند التسخين حتى 911°C إلى مكعبات الفصيلة γ جاما ذات الذرات فى منتصف الأوجه التى تتغير بالتالى عند درجة 1392°C إلى مكعبات δ دلتا ذات الذرة فى المركز .

وتحدث مرحلة أخرى عند درجة حرارة 769°C حيث يفقد الحديد النقى مغناطيسيته عند تسخينه حتى هذه الدرجة . وهذا التغير فى الخواص يظهر على شكل تدرج صغير فى المنحنى ونفس التغير يحدث عند التبريد من درجات حرارة أعلى من هذه الدرجة . وكان المعتقد أولا أنه يحدث تغير فى التركيب وسمى الحديد بين 769°C، 911°C حديد الفصيلة β بيتاً ، وقد ثبت بعد ذلك أن الهيكل الفراغى للبلورة نفسه لا يتغير أى يظل هو نفس هيكل الفصيلة α ألفا . ولهذا لا يستعمل التعبير حديد بيتاً β فى الحياة العملية الآن ولذلك يكون الحديث عند درجة حرارة 911°C عن تحول من $\gamma \longrightarrow \beta$ بل دائماً عن تحول من $\gamma \longrightarrow \alpha$.

ونقاط التوقف فى منحنيات التبريد والتسخين للحديد النقى يشار إليها بالحرف A (من الفرنسية يتوقف = Arrêter) وتحت هذا الحرف يوضع حرف r (١) إذا كانت نقاط التوقف تعبر عن التبريد ، ونقاط توقف منحنيات التسخين ستميز بحرف C (٢) وهذه النقاط هى فوق ذلك مرقمة .

ونقطة A_1 تظهر عند الحديد المحتوى على كربون عند درجة حرارة 723°C . ولنقطة التحول A_3 ($\gamma \rightleftharpoons \alpha$) أهمية كبرى فى الصناعة حيث يتحول الحديد فى الفصيلة ألفا α ذو الذرات فى المركز بسرعة كبيرة إلى الحديد فى الفصيلة γ جاما ذى الذرات فى وسط الأوجه والذى يتغير ثانية إذا انخفضت درجة الحرارة عند نقطة A_3 .

---

(١) من الفرنسية تبريد refroidissement
(٢) من الفرنسية تسخين chauffage

١١ ـ التغير فى البناء الداخلى للفلزات نتيجة قوى خارجية

إذا تأثر فلز صلب عند درجة حرارة الجو العادية بقوة خارجية ، مثلا إذا طرق بمطرقة أو ثنى أو عرض للكسر ، فإن التماسك الذرى لقطعة الفلز يحاول الاحتفاظ ببنائه .

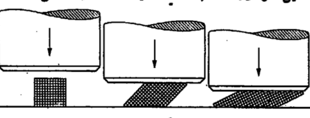
وإذا أمكن باستعمال قوة أكبر التغلب على مقاومة الفلز فإنه يبدأ فى التأثر ، ولكنه لا ينكسر بل يبدأ فى تغيير شكله وبزيادة التغير فى الشكل يزداد الفلز صلابة (التصلب على البارد) وتزداد مقاومته لأية زيادة فى التغير (مقاومة التشكيل) ويلزم استخدام قوة أكبر باستمرار لزيادة التغير فى شكل الفلز (زيادة التشكيل) .

وإذا استمر الطرق تحين اللحظة التى تنتهى عندها قدرة الفلز على التشكيل وتبدأ العينة التى زاد عليها التشكيل فى التشقق .

وقوة الفلز وقدرته على التشكل والتصلب تحت تأثير قوى خارجية من الخواص الهامة ذات الفائدة العملية وتختلف هذه الخواص بالنسبة للفلزات المختلفة وتتغير بتغير درجة الحرارة .

ماذا يحدث داخل البلورات عندما يبدأ التشكل ؟

لو فرض أن قطعة الفلز مكونة من بلورة واحدة بدلا من كثير من الحبيبات الغير منتظمة الشكل والحجم ، ومثل هذه البلورات يمكن صنعها فى المعمل ، فإنه عند تحميل هذه البلورة حمل بسيط سواء بالشد أو الضغط فإن ذرات هيكل هذه البلورة ستقترب أو تبتعد عن بعضها بمرونة فإذا توقف التحميل تعود إلى أماكنها القديمة ثانية ولذلك فإن شكل هذه البلورة يتغير تغيراً مرنا (تشكيل مرن) .

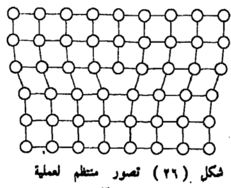


شكل (٢٥) تبدأ مجموعات ذرات البلورة المنفصلة تحت تأثير التحميل الخارجى فى الانزلاق عن بعضها وترتب نفسها فى الوضع المناسب لاتجاه التحميل . ويتم تشكيل البلورة المنفصلة .

وإذا زاد التحميل زيادة كبيرة تبدأ الذرات فى الإنزلاق على مستويات معينة ـ مستويات الإنزلاق ـ من المستويات البللورية حيث تبدأ أجزاء من هيكل البللورة فى الابتعاد بمسافة بعد ذرى أو مضاعفاته عن بعضها (شكل ٢٥) .

ولا تعود الذرات بعد ذلك إلى وضعها السابق عند رفع الحمل وقطعة الفلز قد تغيرت تغيراً دائماً . وكلما زادت مستويات الإنزلاق فى فلز ما كلما زادت قدرته على التشكل . ولذلك فإن الفلزات التى تتبلور فى فصيلة المكعب ذى الذرات فى منتصفات الأوجه مثل الألومنيوم والنحاس والنيكل التى لها ١٢ احتمالا للإنزلاق تتشكل بسرعة وسهولة على البارد . والفلزات التى تتبلور فى فصيلة المكعب ذى الذرة فى المركز مثل الحديد والمنجنيز والمولبدنيوم والتى لها ٤ احتمالات للإنزلاق ، يجب معاملتها باحتراس

عند التشكيل . والفلزات التى تتبلور فى فصيلة السداسى مثل الزنك والمنجنيز ولها احتمالان للإنزلاق يجب استخدام سرعة بطيئة فى تشكيلها على البارد .



شكل (٢٦) تصور منتظم لعملية تغير موضع الذرة .

وقوى التماسك التى تربط بللورات الهيكل البللورى ببعضها معروفة ، ولذلك من السهل حساب القوة اللازمة لإنزلاق جميع ذرات أحد المستويات فى بللورة مثالية ، وتكون عندئذ القوة اللازمة لذلك كبيرة للغاية عن القوة اللازمة فى الواقع . والقوة المحسوبة تكون ألف إلى عشرة آلاف مرة كما هى فى البللورات الحقيقية بالنسبة للبللورات المثالية المحضرة فى المعمل (١) .

وليست الذرات عموماً فى حالة تتيح لها هيكلا خالياً من العيوب ، ولذلك فالبللورات الحقيقية تحوى عادة مجموعة من التجاوزات عن الهيكل المثالى (عيوب الهيكل) ومن عيوب الهيكل البللورى التى توجد فى كل فلز مواضع الترسيبات على حدود الحبيبات .

وتغير موضع الذرة فى عمليات الإنزلاق هو أحد عيوب الهيكل البللورى التى تنتج عن تجمع الذرات على مستوى من المستويات البللورية بينما تبتعد عن بعضها عند المستوى البللورى التالى (شكل ٢٦) . وعادة تمر خطوط كاملة من هذا التغير ، محاطة بعيوب الهيكل الذرى ، عبر كل البللورة.ويمكن أن تنتقل هذه الخطوط تحت تأثير قوة خارجية من صف من البللورات للآخر ، وعملية الإنزلاق تستمر هكذا فى خطوات إنزلاق على مستويات الإنزلاق ولذلك تحتاج لقوة أقل .

والتصلب على البارد يمكن تصويره على أنه المواضع المعيبة الأخرى مثل : حـــدود الحبيبات أو التغيرات الجديدة التى نتجت عن التشكيل ، كذلك الشوائب التى توجد عند مستويات الإنزلاق تؤدى إلى تعطيل عملية الإنزلاق بشدة.ولتخطى العقبات التى تزداد باستمرار يجب أن تزيد القوة المؤثرة باستمرار إلى درجة تنحنى فيها مستويات الإنزلاق الأمر الذى يؤدى إلى تصلب . وفى الفلزات كثيرة البللورات تظهر إلى جانب هذا عقبة أخرى وهى عمليات الإنزلاق فى البللورات المجاورة .

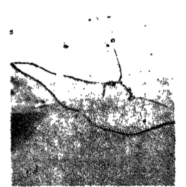
والمراحل الناتجة عن الإنزلاق يمكن رؤيتها بوضوح تحت المجهر فى الفلزات المتبلورة العادية والشكل رقم (٢٧) يوضح خطوط الإنزلاق المنحنية التى نتجت حول الأثر الذى أحدثه منشور قياس الصلادة فى عينة لامعة منمشة من الحديد النقى .

وتختفى خطوط الإنزلاق ولا تظهر ثانية إذا لمعت العينة ونمشت من جديد لأن بناء الهيكل الفراغى

(1) Guy, A.G.: Petzow, G. : Metallkunde für Ingenieure, Frankfurt/Main : Akademische Verlagsgesellschaft 1970.

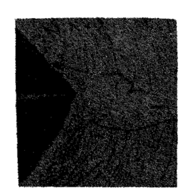
للبللورة يظل كما هو إذا حدث فيه إنزلاق بسيط (شكل ٢٨).

والفلزات التي تكون احتمالات إنزلاقها صغيرة بسبب بنيانها الهيكلي مثل تلك المتبلورة في فصيلة السداسى (الكــادميوم والماغنيسيوم والزنك) الخ يمكن تشكيلها بتأثير قوى خارجية عن طريق البناء التوأمى الميكانيكى.



400 : 1

شكل (٢٨) نفس الموضع بعد تلميعه وتمشه مرة أخرى. خطوط الإنزلاق غير ظاهرة.

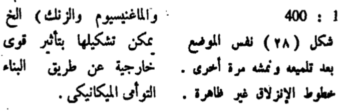


400 : 1

شكل (٢٧) خطوط الإنزلاق الناتجة عن أثر منشور قياس الصلادة فى بللورات الحديد.

ويمكن تخيل البناء التوأمى : أن بعض أجزاء الهيكل الفراغى تنطبق بسرعة كبيرة جداً فى اتجاهات معينة كما يظهر فى الرسم (شكل ٢٩).

والتشكيل الناتج عن ذلك صغير بالمقارنة بذلك الناتج عن الإنزلاق ، ويمكن رؤية هذه التشكيلات التوأمية تحت المجهر إذا جهزت العينة بعد التشكيل حيث أن الاتجاهات المختلفة فى الهيكل الفراغى تظل موجودة.

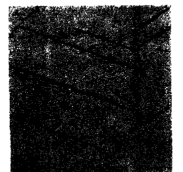


شكل (٢٩) الفرق بين الإنزلاق (a) والبنــاء التــوأمى (b)

ويلاحظ حدوث التشكيل عن طريق البناء التوأمى فى بعض الفلزات التى لها احتمالات إنزلاق كثيرة ، وفى حالة تعذر التشكيل بالإنزلاق . ويحدث ذلك عندما تعمل القوة المؤثرة فجــأة بحيث لا تستطيع عملية الإنزلاق أن تبدأ فى الوقت المناسب ومثلا يظهر فى بللورات الحديد شرائط توأمية تسمى شرائط نويمان (شكل ٣٠).

وهناك نوع آخر من التوائم الذى لم توضح قطعياً بعد، ينشأ بعد المعاملات الحرارية . وهذه التوائم الناشئة عن التسخين تظهر فى العينة المنمشة دائماً كأزواج من الخطوط المستقيمة المتوازية وهى مميزة لبعض الفلزات مثل النحاس والنيكل والفضة والذهب ويحتمل أن البللورات التوأمية الناشئة عن التسخين قد نمت من نويات توائم(١)

1) Schümann, H. : Metallographie, 7. Aufl. Leipzig ; Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1969.




400 : 1

شكل (٣٠) شرائط توأمية ناتجة عن التحميل الفجائى فى بللورات الحديد (شرائط نويمان)

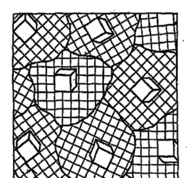
400 : 1

شكل (٣١) توائم ناتجة عن المعاملات الحرارية فى بللورة من النحاس .

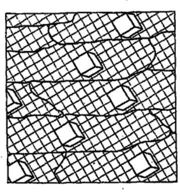
وإذا تكونت قطعة من الفلز من مجاميع عديدة غير منتظمة من الحبيبات فإن هيكل كل حبيبة من الحبيبات قبل التشكيل على البارد سيكون فى وضع متغير عن زميلاتها أى أنه ليس لها اتجاه واحد (شكل ٣٢) والخواص الميكانيكية (كقوة الشد والتمدد) للحبيبات المرتبطة بالاتجاه تعادل نفسها .

ولذلك يكون لقطعة الفلز غير المشكلة نفس الخواص الميكانيكية فى جميع الاتجاهات وعند التشكيل على البارد بشدة تأخذ الهياكل الفراغية للبللورات أنسب وضع بالنسبة لاتجاه التحميل شيئاً فشيئاً .ويظهر للتركيب الداخلى اتجاه ويصبح له نسيج (شكل ٣٣) .ونتيجة لذلك يكون لها فى اتجاه الإنزلاق خواص ميكانيكية (قوة الشد والتمدد) أخرى عن تلك التى فى الاتجاه العمودى لذلك .

يستخدم الوصف «نسيج» إذا اتخذت بللورات المواد المعدنية اتجاهاً محدداً ، وبجانب نسيج التشكيل يعرف أيضاً نسيج السباكة (انظر شكل ١٥) ونسيج النمو (مثلا فى الطبقات الناتجة عن الترسيب الكهربى) ونسيج إعادة التبلور .



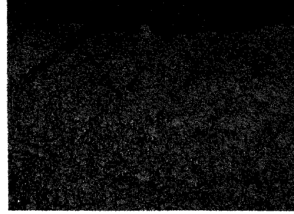
شكل (٣٢) فلز غير مشكل . الخواص الميكانيكية واحدة فى جميع الاتجاهات .



شكل (٣٣) فلز مشكل على البارد . الخواص الميكانيكية فى اتجاه الإنزلاق غيرها فى الاتجاهات الأخرى .

ويمكن أن يستمر الاتجاه الواحد للبللورات حتى أن خطوات الإنزلاق فى الفلزات ذات البللورات الكثيرة تستمر من بللورة إلى أخرى فى الهيكل المعدل للبللورات المجاورة .

وبزيادة التشكيل على البارد فإن المعادن النقية كثيرة البللورات والسبائك المتجانسة تسلك سلوك البللورة المنفصلة ويظهر هذا فى الشكل (٣٤) كمثال لصفيحة رقيقة من النحاس الأصفر المتجانسة (سبيكة من النحاس والزنك 67.5% نحاس مكونة من بللورات محلول صلب) وقد شكلت الصفيحة المكونة من حبيبات دقيقة جداً على البارد ، وسلكت الحبيبات الدقيقة الكثيرة المشكلة والبللورات التى أخذت نفس الاتجاه مسلك البللورة المنفصلة ، وانتقلت خطوات الإنزلاق لداخل كل الطبقة المشكلة من بللورة إلى أخرى .

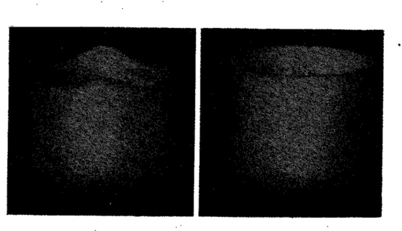


200:1

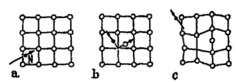
شكل (٣٤) خطوط الإنزلاق التى ظهرت عند تشكيل صفيحة من نحاس أصفر دقيق ومتجانس الحبيبات فى الطبقة التى حدث فيها التشكيل .

ولما كانت مقاومة الإنزلاق للصفائح التى يظهر بهـا النسيج تختلف باختلاف الاتجاه فإنه تتكون أطراف صغيرة (شكل ٣٥) إذا صنعت من مثل هذه الصفائح قطع بالسحب الشديد .

وفى صناعة المفاعلات الذرية فإن الحقيقة الآتية مهمة : وهى أن المواد المشعة لها القدرة على تغيير خواص المواد الصلبة حيث تستطيع النيوترونات السريعة أن تطرد الذرات من مكانها فى الهيكل الفراغى ، والذرة التى طردت من مكانها يمكنها أن تثبت نفسها بين ذرتين من ذرات الهيكل .



شكل (٣٥) تكون أطراف عن سحب وعاء صغير من الألومنيوم وإلى اليمين فلز ليس له أطراف .



شكل (٣٦) تغير صفات الفلز نتيجة لقذف النيوترونات (أ) نيوترون N ينقذف فى الهيكل البللورى ويقابل ذرة من ذرات الهيكل (ب) الصدمة قوية لدرجة أن تنقذف الذرة من مكانها وينحرف النيوترون وينشأ مكان خال فى الهيكل البللورى (ج) الذرة المنقذفة «حشرت» نفسها بين ذرتين من ذرات الهيكل البللورى. المواضع الخالية والذرات المحشورة تشوه الهيكل البللورى ويصبح المعدن قصفاً .

ويظهر هذا بالتفصيل وبتبسيط شديد فى (شكل ٣٦). والنيوترون الذى غير اتجاهه القدرة على أن يقذف بالذرات الأخرى من أماكنها وهذه الذرات المقذوفة لا تستمر فى أماكن بين غيرها من الذرات فى الهيكل الفراغى بل نتيجة اكتسابها طاقة حركة من النيوترون ، تقذف بغيرها من الذرات من أماكنها فى هيكل البللورة ، وهكذا ينشأ عدد من الأماكن الخالية فى الهيكل الفراغى وعدد من الذرات فى أماكن بين الذرات الأخرى فى الهيكل البللورى (عيوب فرنكل) هذا قبل أن تستنفد طاقة الحركة المكتسبة من النيوترون . وهذه العيوب يمكن أن تشد الهيكل البللورى وبذلك تجعل الفلز صلبا قصفاً كما لو كان قد تعرض لتشكيل على البارد (التصلب بأشعة النيوترون).

وكلما نشأت المواضع الخالية فى الهيكل البللورى بهذه الطريقة كلما كان من الممكن أن تملأها الذرات المنقذفة ، وعند ثبات التعرض للاشعاع وثبات درجة الحرارة ، تحاول «عيوب فرنكل» هذه الوصول إلى قيمة تشبع (١) . وعند درجات الحرارة العالية التى توجد داخل المفاعل يمكن للذرات أن تتجول ويمكنها أن تعالج «عيوب فرنكل» فى البللورة ، ولهذا السبب يجب تبريد العينات التى توضع لأغراض التجارب وسط المفاعل ، هذا إذا أريد فحص التغيرات الناتجة عن التعرض للاشعاع . وقد أمكن عن طريق تعريض عينة من النحاس إلى الإشعاع النيوترونى زيادة قوتها إلى مائة من القيمة العادية ، كذلك أمكن تغيير خواص أشباه الموصلات مثل الجرمانيوم والسيليكون ومركباتها بواسطة تعريضها للاشعاعات الغنية بالطاقة (٢) .

١٢ ــ إعادة التبلور ونمو الحبيبات

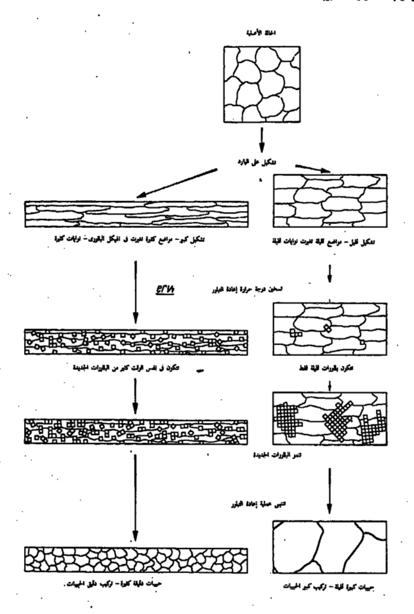
تستطيل بللورات الفلز إذا تعرض للتشكيل على البارد ــ كما ذكرنا فى الباب السابق ــ حسب القوة المستخدمة فى التشكيل . وتحاول الذرات أن تحافظ على البناء البللورى عند التشكيل على البارد. ولكنها لا تستطيع أن تمنع تغير مواضع كثيرة فى الهيكل البللورى والذرات التى أصبحت فى وضع اضطرارى يهمها بالمحل الأول أن تحرر نفسها من وضعها هذا وأن يصبح الهيكل البللورى منتظماً ما أمكن . وينقصها عند درجات الحرارة المنخفضة طاقة الحركة اللازمة لذلك ، فإذا تعرضت للتسخين أصبحت أكثر حركة وتكتسب كمية من الطاقة تمكنها من البدء فى إعادة بناء الهيكل البللورى الغير منتظم .

وكما هو موضح بالشكل (٣٧) بالترتيب تتم عملية تبلور كالتى تحدث أثناء عملية التجمد من حالة الإنصهار .

---

1. Sagel, K. ; Werkstoffe unter Bestrahlung, in : Werkstoffhandbuch Nichteisenmetalle, 2. Aufl., Düsseldorf : VDI-Verlag 1960.
2. technica 1966, Nr. 24, S. 2390.

وفى الحبيبات التى حدث فيها تشكيل كبير أصبح الهيكل البللورى فى حالة عدم انتظام شديدة لدرجة أن الذرات تحاول تكوين هيكل جديد . وعند التسخين تتكون أعداد كبيرة من البللورات فى المواضع الغير منتظمة ولكنها لا تستطيع أن تنمو كثيراً لأنها ستتزاحم بسرعة مع غيرها من البللورات المجاورة التى تكونت من جديد . أى أنه بعد تشكيل شديد على البارد ينشأ تركيب من كثير من البللورات الصغيرة ، تركيب دقيق الحبيبات .



شكل (٣٧) شرح مرتب لعملية إعادة التبلور ولكى لا يكون الشرح غامضاً أشير فقط إلى هيكل البللورات التى تكونت من جديد .

وإذا نشأت عن التشكيل القليل على البارد مواضع غير منتظمة قليلة ، فإن ذرات البللورات المجاورة تبنى فى البللورات القليلة ، التى تبلورت من جديد ، حتى أن التركيب أساساً ينتهى ويتكون من جديد بانتظام ، أى أنه تنشأ فقط حبيبات قليلة كبيرة .

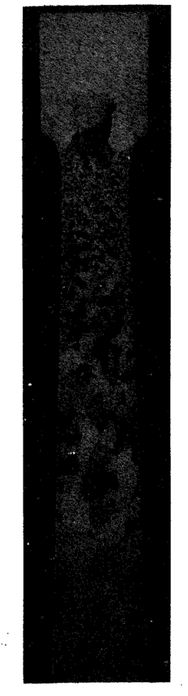
ولما كانت الذرات تحاول تكوين هياكل بللورية جديدة بسرعة ، تزيد كلما زاد عدم انتظام الهياكل القديمة ، فإن الذرات تبدأ فى تكوين الهياكل الجديدة عند درجات حرارة أقل كلما زادت كمية التشكيل على البارد.أى أن عملية إعادة التبلور تتم عند درجات حرارة أقل كلما زادت درجة التشكيل .

وعند درجات حرارة إعادة التبلور العالية تبدأ بعض البللورات المتكونة من جديد فى ابتلاع بعضها ، وينشأ ذلك لأن الحبيبات الأقل ثباتاً فى هيكلها تنضم إلى جاراتها الأكثر ثباتاً وتنمو مع بعضها فى حبيبة جديدة ، وكل حبيبة تحوى مواضع غير منتظمة تكون أقل ثباتاً ، ونمو الحبيبات هذا لا يتوقف بانتهاء عملية إعادة التبلور إذا ظل الفلز موجوداً عند درجة حرارة عالية أى حيث تكتسب الذرات حرية حركة كافية (إعادة تبلور ثانية) ونمو الحبيبات من أسباب تكون حبيبات كبيرة عند درجات حرارة التبلور العالية .

وحجم الحبيبات الجديدة المكونة نتيجة عملية إعادة التبلور فى الفلزات النقية يعتمد تماماً على درجة التشكيل ودرجة حرارة إعادة التبلور وزمن أو مدة التسخين .

والفلزات المستعملة فى الحياة العملية ليست نقية تماماً والشوائب تعطل نمو الحبيبات . والفلز المحتوى على شوائب كثيرة ستنتج إعادة تبلوره حبيبات أدق من الفلز النقى عند نفس درجة التشكيل ودرجة حرارة إعادة التبلور .

(شكل ٣٨) يبين عينة شد لخابور من الألومنيوم النقى ونتيجة لشكل خابور عينة الشد فإن العينة استطالت بغير انتظام عندما سحبت . وعند تخميرها لإعادة التبلور بعد ذلك نشأت حبيبات دقيقة فى المنطقة التى تأثرت كثيراً بالسحب وحبيبات كبيرة فى مكان المقطع الكبير الذى لم يتأثر كثيراً فى عملية السحب . وعن طريق هذه التجربة يمكن إثبات ميل الفلزات عند التخمير بعد التشكيل على البارد لتكوين حبيبات كبيرة .



1 : 1

شكل (٣٨) عينة خابور شد من الألومنيوم النقى أعيد تبلورها عند درجة حرارة 500°C .

ثانيا : السبائك

١ - كلمة عامة

للفلزات النقية ، خواص قليلة تكون فيها هى الأحسن مثل التوصيل الكهربائى والقدرة على التشكيل اللدن .

والخواص المطلوبة لمعظم الاستعمالات الصناعية يحصل عليها عن طريق السبائك .
والسبائك هى خليط من الفلزات أو من الفلزات والعناصر غير الفلزية ، تحتفظ فيها بسمات الفلزات .
وعن طريق امكانية إضافة الفلزات والعناصر الغير محدودة يمكن تغيير خواص السبائك لإنتاج أنسب المواد لمختلف أغراض الاستعمال . وبالاستمرار فى تجاربنا نذهب خطوة أخرى لإنتاج وفحص سبائك ثنائية مكونة من عنصرين .

وفى معظم الحالات تنتج السبائك بصهر الفلز الأصلى أو الأكثر كمية ثم إضافة العنصر الآخر فى الحالة السائلة أو الصلبة ، وتنشأ الصعوبات إذا كانت درجة حرارة انصهار العنصر المضاف القليل الكمية أعلى بكثير من درجة حرارة انصهار الفلز الغالب . فتسخين الفلز الغالب إلى درجات حرارة أكثر بكثير من درجة حرارة انصهاره قد يكون مضراً أى أن يتبخر الفلز أو يبدأ فى إذابة كميات كبيرة من الغازات التى تخرج عند صب الفلز فتتسبب فى أن يصبح الفلز المصبوب اسفنجياً . وإذا كانت السبيكة تتكون من عناصر لها درجة حرارة انصهار أعلى من درجة حرارة انصهار السبيكة يمكن أن يبدأ بصنع قطع صغيرة من العناصر ذات درجة حرارة الانصهار الأعلى كأساس للسبيكة ، ويمكن إذابة العناصر ذات درجة الانصهار الأعلى فيها فيما بعد فى الحالة المنصهرة ، ولذلك لا تحتاج لرفع درجة الحرارة بدون داع .

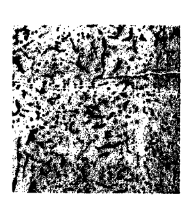
والفلزات المختلفة تتعامل مع بعضها ومع غيرها من العناصر باختلاف شديد فهناك فلزات تتحد مع بعضها وغيرها من العناصر فى الحالة السائلة اتحاداً كاملا وتظل على ذلك فى الحالة الصلبة ، أوتتحد اتحاداً جزئياً . وبعضها يتحد مع بعض فى الحالة السائلة ولكن كلامنها يسلك سلوكه الخاص فى الحالة الصلبة . وبعضها لا يتحد مع بعض فى كل من الحالة السائلة والصلبة .

٢ - عدم الذوبان الكامل فى كل من الحالتين السائلة والصلبة :

وبالبدء فى آخر حالة ذكرت فإنه فى كل من الحالة السائلة والحالة الصلبة فإن كل عنصر من

عناصر السبيكة يتبع قانونه الخاص ، ومثل هذه السبائك وجب تسميتها « مخاليط » لأنها لا تفى بأحد الشروط الأساسية للسبيكة الحقيقية وهى أن عناصر السبيكة يجب أن تذوب ذوباناً تاماً فى الحالة السائلة .

والقاعدة الملحوظة بالنسبة لأغلب السبائك وهى أن درجة حرارة انصهار السبيكة تختلف عن درجة حرارة انصهار عناصر تكوينها لا توجد فى هـذه الحالة لأن كل عنصر مكون من مكونات السبيكة ينصهر عند درجة حرارة انصهاره والعنصر ذو درجة حرارة الانصهار الأعلى هو الذى يتجمد أولا ويظل الآخر سائلا حتى تنخفض درجة الحرارة كثيراً وتسمح لـه بالتجمد . وإذا تركت مثل هذه السبيكة تتجمد دون تأثير خارجى فإن العنصرين المكونين سيترسبان فى طبقتين على بعضهما حسب الوزن النوعى لكل منهما ، وهذا الخليط المترسب غير مناسب للاستعمال العملى . وبواسطة التحريك الشديد للسبيكة المنصهرة وصبها وتبريدها بسرعة يمكن تحاشى تكوين تلك الطبقات ويمكن بذلك إيجاد خليط منتظم التوزيع من كلا العنصرين المكونين للسبيكة .



100:1

شكل (٣٩) برونز رولمان بلى (غير منمش) التكوين الأساسى الفاتح نحاسى ، البقع الداكنة رصاص .

وبهذه الطريقة تنتج السبيكة المعروفة بالبرونز وهى خليط من النحاس والرصاص (شكل ٣٩) وتستعمل فى صنع سبائك كراسى الدوران ويمكن للرصاص هنا أن يقوم بمهمة التشحيم لمدد قصيرة إذا تعطل وصول الزيت إلى كرسى الدوران وفوق ذلك تشتبك القطع الفلزية الصلبة الدقيقة التى تصل إلى كرسى الدوران مع قطع الرصاص وتدفن فيها وبذلك لا يحدث من هذه القطع الفلزية أية أضرار .

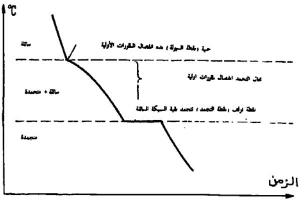
٣ — نظم السبائك الأويتكتيكية

يتكون هذا النوع من السبائك من عنصرين يذوبان فى بعضهما ذوبانا تاماً فى الحالة السائلة ، ولكن عند التجمد تكون ذرات كل نوع بللوراتها الخاصة وفى الحالة الصلبة يوجد خليط من البللورات تحوى كل منها أحد عنصرى السبيكة فقط .

ولما كانت البللورات المختلفة المتكونة عند نمش عينة من هـذا النوع من السبائك تختلف فى تفاعلاتها مع محلول النمش ، فإنه يظهر تحت المجهر نوعان من الحبيبات .

وعند النظر لمنحنى تبريـد إحدى هـذه السبائك (شكل ٤٠) يلاحظ عـدم وجود نقطة توقف تتجمد عندها كل السبيكة ويظهر بـدء التجمد — أى انفصال أول البللورات — على شكل « حنية » على منحنى التبريـد الـذى يستمر فى الميل ، ولكن ليس ميلا شديداً ، وباستمرار انخفاض درجة الحرارة يزيـد انفصال البللورات ، وفجأة تظهر نقطة توقف يتوقف

عندها انخفاض درجة الحرارة وتتجمد بقية السبيكة المنصهرة عند درجة حرارة ثابتة كأنها فلز نقى

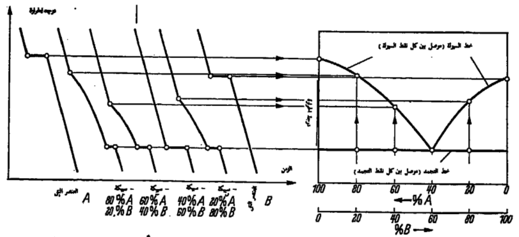


شكل (٤٠) منحنى تبريد سبيكة تامة الذوبان فى الحالة السائلة ، وغير ذائبة على على الإطلاق . فى الحالة الصلبة .

ويسمى الجزء من منحنى التبريد من بدء ظهور « الحنية » وحتى النقطة التى انفصلت منها آخر بللورة « مجال التجمد أو فترة التجمد » والنقطة على المنحنى التى بدأ عندها التجمد تسمى نقطة السيولة والنقطة التى تجمدت عندها آخر بللورة تسمى نقطة التجمد .

ولشرح نوعية هذه السبائك تحضر سبائك كثيرة سائلة تختلف نسب عنصريها المكونين لها وتؤخذ منحنيات تبريد لهذه السبائك (شكل ٤١) التى سيشابه عددمنها(شكل ٤٠) . ونقاط بدءالتجمد أو نقاط السيولة تظهر عند درجات حرارة مختلفة والتجمد ينتهى عند نقطة توقف (نقطة تجمد) تقع عند نفس درجة الحرارة بالنسبة لجميع السبائك . وفى أحد المنحنيات لا يظهر مجال التجمد على الإطلاق على الرغم من أنها سبيكة وليست فلزاً نقياً .

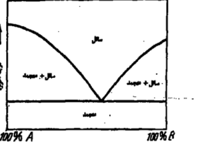
جميع نقط السيولة ونقط التجمد نوقعها فى شكل بيانى – يمثل الإحداثى الأفقى فيه تركيز كل السبائك المحتمل تكوينها بين العنصرين أ ، ب النقيين ويمثل الإحداثى الرأسى درجة الحرارة – إذا وقعت جميع نقط السيولة من منحنيات التبريد فإن الخط الواصل بينها جميعاً سيكون على شكل حرف V مما يظهر أن درجة حرارة انصهار كل من العنصرين أ ، ب تنخفض نتيجة تكون السبيكة والخط الناتج من توصيل كل نقاط السيولة يسمى خط السيولة وتقع جميع نقط التوقف للتجمد النهائى عند



شكل (٤١) استنتاج شكل التجمد لكل السبائك المكونة من العنصرين أ ، ب من منحنيات التجمد لكل سبيكة فى حالة الذوبان التام فى الحالة السائلة وعدم الذوبان التام فى الحالة الصلبة .

نفس درجة الحرارة والخط الواصل بين نقط التجمد — ويسمى خط التجمد — هو لهذا السبب خط أفقى .

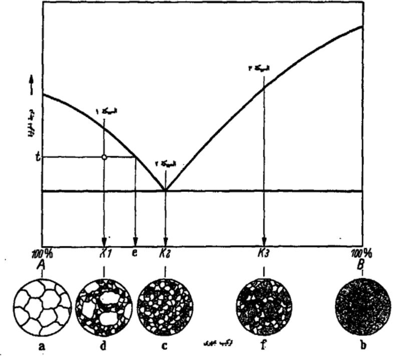
ويقسم خطا السيولة والتجمد الشكل إلى أربعة أقسام (شكل ٤٢) توجد فى كل قسم حالة معينة فى المنطقة فوق خط السيولة تكون السبائك سائلة ، وتحت خط التجمد تكون صلبة ، أما بين خطى التجمد والسيولة فى القسمين الباقيين فتوجد بللورات وسبيكة منصهرة . والشكل بأكمله يسمى منحنى إتزان ، وهو يمثل كل السبائك بين العنصرين أ ، ب .



شكل (٤٢) حالات السبائك الموجودة فى الأقسام فى الشكل المستنتج رقم (٤١) .

وتسمى الطريقة التى تستنتج بها منحنيات الإتزان من منحنيات التبريد (التحليل الحرارى) . ويمكن الحصول على معلومات أخرى عن طريق الفحص المجهرى للتركيب الداخلى .

كيف تبدو السبائك المختلفة إذن تحت المجهر ؟ باستخدام الشكل (٤٣) يمكن ملاحظة ثلاث سبائك أثناء التبريد ، وكما هو معروف فإن الفلزين النقيين أ ، ب سيتجمدان على هيئة حبيبات غير منتظمة الشكل .



شكل (٤٣) منحنى إتزان لكل السبائك بين العنصرين أ ، ب التى تذوب فى بعضها تماماً فى الحالة السائلة ولا تذوب على الإطلاق فى الحالة الصلبة .

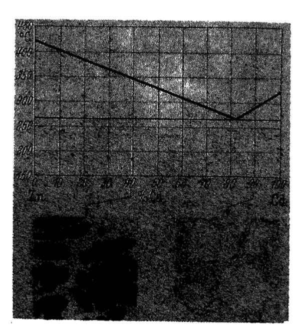
(أ) بللورات أ نقية — (ب) بللورات ب نقية — (ج) أويتكتك من بللورات أ ، ب — (د) بللورات أولية من أ وسط أويتكتك من بللورات أ ، ب — (ه) تركيز السبيكة المنصهرة الباقية من السبيكة ١ عند درجة حرارة ت (و) بللورات أولية من ب وسط أويتكتك من بللورات أ ، ب

كل السبائك التى تقع على يمين ويسار السبيكة رقم (٢) ذات التركيز K_2 التى تجمدت كالفلز التى تحاول الوصول ، ولو جزئياً ، إلى هذا التركيز عن طريق تكوين بللورات من الفلز الموجود منه ذرات زائدة .

وبالنسبة للسبيكة رقم(١)تتكون عند التجمد بللورات أولية مكونة من ذرات الفلز أ فقط وتجد هذه البللورات الأولية التى انفصلت الفرصة والوقت كى تنمو ، وتقل ذرات الفلز أ فى السبيكة نتيجة استمرار استهلاكها فى تكوين بللورات أولية ويتغير تكون باقى السبيكة المنصهرة باستمرار ويقترب أكثر التركيز K_2 . وإذا أريد معرفة تركيز السبيكة المنصهرة الباقية أثناء فترة التجمد عند درجة الحرارة مثلا يرسم خط أفقى من النقطة ت حتى يلاقى خط السيولة فى نقطة تقاطع تبين على خط التركيز ،تركيز باقى السبيكة المنصهر عند درجة الحرارة ت . وإذا رسمت خطوط أفقية ووجدت نقط التقاطع المختلفة لها عند درجات حرارة أقل من درجة الحرارة « ت » لثبت أن تركيز باقى السبيكة المنصهر — نتيجة تكوين بللورات أولية أخرى من الفلز أ يقترب من تركيز السبيكة ٢ . فإذا انخفضت درجة الحرارة حتى تصل إلى خط التجمد فسيكون تركيز باقى السبيكة المنصهر هو نفس تركيز السبيكة رقم ٢ . وسيتجمد كله عند هذه الدرجة بتكوين خليط دقيق من بللورات أ ، ب الذى سيحيط ببللورات أ الأولية التى تكونت ، وإذا كان الفلز أ فلزاً أكثر ليونة والفلز ب أكثر صلابة فستزيد صلابة السبيكة كلما زادت نسبة الفلز ب (تصلب السبيكة) .

ويسرى على السبيكة رقم ٣ نفس ما قيل عن السبيكة رقم (١). فقط ستختلف فى أن البللورات الأولية المنفصلة هى بللورات مكونة من ذرات الفلز ب .

أما بالنسبة للسبيكة رقم (٢) فلن تنفصل من السبيكة المنصهرة أية بللورات قبل التجمد النهائى ولن يوجد هناك مجال تجمد تنفصل فيه بللورات أولية بل تتجمد هذه السبيكة كفلز نقى عند درجة حرارة ثابتة إلى خليط مكون من حبيبات دقيقة من بللورات أ ، ب التى تسمى أويتكتك (وهى الكلمة اليونانية لجيد الانصهار) . وهذه التسمية ترتبط بنظم السبائك الأويتكتيكية بمختلف أنواعها . ويسمى شكل الإتزان أو يتكتيكى ، والتركيب الداخلى الذى تظهر فيه البللورات الأولية محاطة بالأويتكتيك له تركيز أويتكتيكى

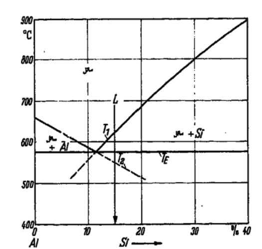


100:1

شكل (٤٤) منحنى اتزان سبائك الزنك والكادميوم بللورات أولية من الزنك فى أويتكتك من الزنك والكادميوم . بللورات أولية من الكادميوم فى أويتكتك من الكادميوم والزنك .

نتيجة انفصال البللورات الأولية . وتسمى النقطة التى يلتقى فيها جزءاً خط السيولة نقطة الأويتكتك ، والسبائك التى على يسار نقطة الأويتكتك هى سبائك أقل من الأويتكتك والتى على يمينها سبائك أكثر من الأويتكتك .

وكمثال عملى حقيقى يظهر منحنى أو شكل الإتزان لسبيكة الزنك والكادميوم (شكل٤٤) مع صورة التركيب الداخلى للسبائك أقل من الأويتكتك والأكثر من الأويتكتك . وفى المنحنى الحقيقى يظهر فى الأحداثى الأفقى النسبة المئوية للعنصر الثانى المكون للسبيكة ونسبةالعنصر الأول تكمل النسبة المئوية إلى مائة .



شكل (٤٥) بللورات أولية مزدوجة ناتجة عن التبريد الزائد مبينة فى جزء مبسط من منحنى إتزان سبائك الألومنيوم مع السليكون .

وفى الحياة الواقعية يحدث أحياناً أثناء تجمد السبائك الصناعية تعطيل لعملية التبلور ينتج عنه تركيب داخلى يختلف كثيراً عما يجب أن يتكون حسب منحنى الإتزان النظرى .

ومن هذا النوع : البللورات الأولية المزدوجة التى تظهر كثيراً فى سبائك الألومنيوم مع السليكون بالقرب من نقطة الأويتكتك ويبينها جزء منحنى إتزان سبيكة الألومنيوم مع السليكون الظاهر فى (شكل ٤٥) .

فحسب منحنى الإتزان يجب أن تنفصل من السبيكة L عند درجة حرارة السيولة T_1 بللورات سيليكون أولية ، وإذا لم تنفصل هذه البللورات نتيجة تعطيل عملية التبلور ، نتيجة الصب فى قالب بارد مثلا ، فيمكن أن تبرد السبيكة السائلة حتى درجة حرارة T_2 أكثر من اللازم (امتداد غير ثابت لخط السيولة) ثم تنفصل بللورات أولية من الألومنيوم . ولنتيجة عملية الحقن الناتجة من بللورات الألومنيوم المنفصلة سيتوقف التبريد الأكثر من اللازم وتنفصل بللورات السيليكون من السبيكة السائلة أثناء ارتفاع درجة الحرارة حتى تصل إلى درجة حرارة الأويتكتك . وإذا وصل تركيز باقى السبيكة المنصهرة إلى تركيز الأويتكتك ينفصل أويتكتك مكون من بللورات صغيرة من الألومنيوم والسيليكون . وبعد التجمد يكون التركيب الداخلى عبارة عن أويتكتك من الألومنيوم والسيليكون يحيط ببللورات أولية من الألومنيوم وبللورات أولية من السيليكون كما هو موضح بالشكل (٥٠) .

٤ — المركبات البينية

تكوين سبائك من الحديد مع الكربون هو من الحقائق ذات الأثر الكبير فى التطور الصناعى ، ويمكن أن يتواجد الكربون نقياً فى التركيب الداخلى لهذه السبائك أو أن يتحد مع الحديد على هيئة كربيد الحديد (المعادلة الكيماوية Fe_3C) ويمكن التأثير على ميل الكربون للتواجد فى إحدى هاتين الصورتين عن طريق سرعة التبريد أو إضافة عناصر أخرى للسبيكة مثل السيليكون أو المنجنيز .

وكربيد الحديد من المركبات البينية(١) التى تظهر كثيراً فى السبائك ولها تركيبها البللورى الخاص الذى يختلف عن التركيب البللورى للعناصر المكونة له ، ويظهر فى صورة معقدة . ولهذا فكثير من المركبات البينية صلبة وقصفه . ويمكن أن تنشأ المركبات البينية مباشرة بالتغير من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة أو بالتحول فى الحالة الصلبة .

ولا تتبع المركبات البينية بالضرورة القواعد التى تتبعها المركبات الكيماوية من حيث أن الذرات المختلفة المكونة لها توجد بنسب معينة بالنسبة لبعضها .

كيف يكون منحنى الإتزان لسبيكة ثنائية إذا كان عنصراها يكونان معاً مركباً بينياً ؟ يجب أن يذوب العنصران فى بعضهما فى الحالة السائلة تماماً وأن لا يذوبا على الإطلاق مع بعضهما فى الحالة الصلبة ، كما فى النوع السابق . ونأخذ أولا الحالة السهلة التى يظل فيها المركب البينى عند التسخين موجوداً حتى ينصهر عند درجة حرارة ثابتة (ينصهر دون أن يتحلل).

ويبين (شكل ٤٦) مثالا لذلك : العنصر A ، العنصر B يكونان المركب البينى V بنسبة 55% A ، 45% B ويقسم المركب البينى منحنى الإتزان إلى جزءين لكل جزء منهما شكل إتزان أويتكتيكى مستقل والجزء رقم I يمثل كل السبائك المكونة من العنصر A ، المركب البينى V بينما الجزء II يمثل كل السبائك المكونة من المركب البينى والعنصر B .

شكل (٤٦) منحنى إتزان يوجد به مركب بينى V = مركب بينى .

والبللورات الأولية هى والأويتكتك يمكنها أن تأخذ صوراً جميلة أو خاصة بها مميزة لها . والأشكال (٤٧) حتى (٥٢) صفحة ٤٠ تبين كيف تكون الطبيعة صوراً متغيرة من أنواع البللورات .

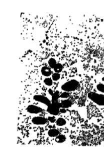
(١) كلمة مركب بينى تعنى مركباً من فلزات . ولكن اللافلزات مثل الكربون والأوكسيجين والفسفور والكبريت تكون مع الفلزات مركبات لها خواص فلزية ، ولذلك يطلق هذا الاسم على هذه المركبات أيضاً .



400:1
شكل (٤٧) أويتكتك الزنك مع الماغنيسيوم .

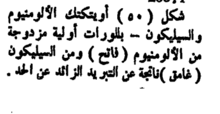


500:1
شكل (٤٨) أويتكتك الفضة مع النحاس — بللورات أولية من الفضة .





400:1
شكل (٤٩) أويتكتك النحاس مع أوكسيد النحاس — بللورات أولية من أوكسيد النحاس .



200:1
شكل (٥٠) أويتكتك الألومنيوم والسيليكون — بللورات أولية مزدوجة من الألومنيوم (فاتح) ومن السيليكون (غامق) ناتجة عن التبريد الزائد عن الحد .

200:1
شكل (٥١) أويتكتك الألومنيوم مع الجرمانيوم — بللورات أولية من الجرمانيوم .

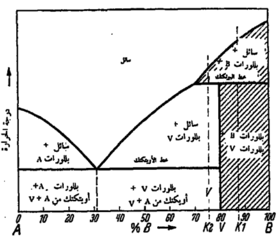
200:1
شكل (٥٢) أويتكتك الحديد مع كربيد الحديد . بللورات أولية من كربيد الحديد .

الأشكال من ٤٧ إلى ٥٢ بللورات أولية وأويتكتك (جمعت بمعرفة ايفاكورمان) .

٥ ـ التفاعلات البيرتكتيكية

منحنيات إتزان السبائك تصبح صعبة نوعاً ما عندما تكون المركبات المتكونة غير ثابتة حتى درجة حرارة الانصهار ، بل تتحلل ، وهذا التحلل مرتبط هو الآخر بظاهرة حرارية حيث تظل درجة الحرارة ثابتة على الرغم من مد السبيكة بالحرارة وتظهر نقطة توقف فى منحنيات التبريد أو التسخين لمدة قصيرة وعند هذه النقطة يتحلل المركب البينى إلى مادة جديدة وسبيكة منصهرة والتفاعلات التى فيها يتحلل عند التسخين نوع من البللورات إلى نوع آخر من البللورات وسبيكة سائلة ، وبالتالى عند التبريد تتحد بللورات منفصلة مع السبيكة السائلة مكونة نوعاً جديداً من البللورات، تسمى تفاعلات بيرتكتيكية .

ولتؤخذ هنا أيضاً حالة ذوبان العنصرين ، تمام الذوبان فى الحالة السائلة وعدم ذوبانهما تماماً فى الحالة الصلبة . فبجانب خط الأويتكتك سيظهر هنا خط أفقى آخر جديد هو خط البيرتكتك ، وذلك عند درجة الحرارة التى يتحلل فيها المركب البينى V . فوق هذا الخط ستوجد بللورات من B والسبيكة المنصهرة (شكل ٥٣) .



شكل (٥٣) مثال منحنى إتزان به تفاعل بيرتكتيكى .

فإذا صرف النظر فى هذا الشكل عن الجزء الأيمن المهشر منه وفحص الجزء الأيسر منه يبين الفلز A النقى والمركب البينى V لوجد أنه منحنى إتزان لسبيكة أويتكتيكية بينهما . فيبقى فحص جزء الشكل المهشر الذى تغير نتيجة التفاعل البيرتكتيكى والجزء المهشر من الشكل (٥٣) .

ومن ملاحظة المركب البينى عند التسخين فإنه يبدأ فى الانصهار والتحلل فى نفس الوقت عند الوصول إلى درجة حرارة البيرتكتك وسينشأ عند درجة حرارة الأويتكتك الثابتة بللورات B وسبيكة منصهرة وبعد إنتهاء التفاعل البيرتكتيكى ترتفع درجة الحرارة ــ على فرض أن التسخين مازال مستمراً ــ وتذوب بللورات B تدريجياً حتى تنصهر كلها عند الوصول إلى خط السيولة . وإذا بردت هذه السبيكة نفسها ثانية فى الحالة السائلة فستنفصل بللورات B من السبيكة المنصهرة .

وعند درجة حرارة البيرتكتك تتفاعل بللورات B التى انفصلت مع باقى السبيكة المنصهرة وتكون المركب البينى وينتج عن ذلك حرارة وتستهلك كل ذرات الفلز B فى هذا التفاعل لأن العدد الموجود منها هو القدر الكافى لتكوين المركب البينى .

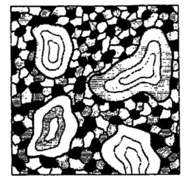
فإذا بردت سبيكة منصهرة بتركيز K_1 فستتواجد عند درجة حرارة البرتكتك بللورات من B أكثر من اللازم لتكوين المركب البينى فتتبقى البللورات الزائدة عن اللازم كما هى ولا تشترك فى التفاعل البرتكتيكى وتحت درجة حرارة البرتكتك سيكون التركيب الداخلى للسبيكة بللورات أولية من B محاطة بالمركب البينى V المسمى برتكتك .

وكذلك فإن السبيكة المنصهرة ذات التركيز K_2 لن يوجد بها عدد كاف من بللورات B للتفاعل مع السبيكة المنصهرة الباقية كلها فى تفاعل برتكتيكى ، أى أنه سيتبقى جزء من السبيكة المنصهرة إلى جانب المركب البينى بعد التبريد إلى أقل من درجة حرارة البرتكتك ونصل إلى نظام الأويتكتك البسيط ثانية . وبزيادة التبريد تنفصل بللورات المركب البينى مباشرة من السبيكة المنصهرة دون تفاعل برتكتك وتتجمع على سابقاتها من بللورات المركب البينى التى انفصلت بالتفاعل البرتكتيكى وتتجمد هذه السبيكة نهائياً كما فى الشكل (٥٣) .

وفى الطبيعة لا تحدث التفاعلات البرتكتيكية أثناء التبريد بهذه السهولة التى صورت نظرياً . ومفهوم طبعاً أن البللورات الأولية تتفاعل مع جزء من السبيكة السائلة التى تحيط بها وينشأ حول البللورة الأولية للفلز النقى غطاء أو قشرة من المركب الجديد يتطلب استمرار التفاعل بين البللورة الأولية والسبيكة السائلة فى سبيكة بتركيز K_2 لن ينشأ فى الطبيعة التركيب المثالى الموجود فى الشكل رقم (٥٤) حيث توجد قشرة من المركب البينى محاطة بأويتكتك مكون من بللورات الفلز A والمركب البينى ، بل ستوجد قشور بها المركب البينى الناشئ من التفاعل البرتكتيكى والمنفصل من السبيكة المنصهرة الباقية مغلفة لقلب داخلى من بللورات B النقية (شكل ٥٥) ولما كانت القشور المغلفة عن التفاعلات البيرتكتيكية فقد جاء اسمها من الكلمة اليونانية بيرتكتيك التى تعنى « مبنى حول » .



شكل (٥٤) تركيب داخلى مثالى ناتج عن تبريد بطئ جداً . بللورات مركب بينى ناشئة عن تفاعل بيرتكتيكى محاطة ببللورات مركب بينى ناشئة من السبيكة المنصهرة مباشرة موجودة فى أويتكتك من بللورات المعدن A والمركب البينى .



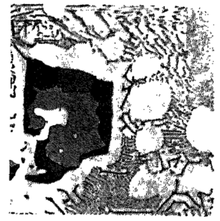
شكل (٥٥) التركيب الداخلى الحقيقى بعد التبريد العادى : بقايا بللورات الفلز B النقية محاطة بمركب بينى ناشئ عن التفاعل البيرتكتيكى ومركب بينى منفصل مباشرة من السبيكة المنصهرة الباقية فى أويتكتك من بللورات الفلز A والمركب البينى .

شكل ٥٤ و ٥٥ التركيب الداخلى لسبيكة ذات تركيز K_2 (شكل ٥٣)

و(الشكل ٥٦) يبين أحد الأمثلة العملية لهذه القشور المغلفة فى تركيب داخلى لسبيكة يورانيوم مع ألومنيوم تحوى 36% يورانيوم حيث انفصل أولا المركب البينى UAl_3 (رمادى فاتح) والتفاعل

البرتكتيكى أنتج الغلاف المكون من UAl_4 (رمادى غامق) وتجمدت باقى السبيكة على شكل أويتكتك مكون من Al ، UAl_4 وبالتبريد الزائد عن الحد نشأت قبل التجمد النهائى بللورات أولية من الألومنيوم تظهر كبللورات كبيرة فاتحة شبه مستديرة فى التركيب الداخلى .

وفى حالة التبريد البطئ لمثل هذه السبائك تحاول الطبيعة أن تعادل الفروق فى التركيز فالذرات التى كونت بللورات لازال لديها عند درجات الحرارة العالية طاقة حركة تمكنها من أن تتبادل أماكنها مع الذرات المجاورة ، وهكذا تبدأ عملية تجول عامة لذرات التركيب الداخلى الراغبة فى أن تعادل الفروق فى التركيز (انتشار) . وبعد التجمد النهائى تصبح الذرات مع انخفاض درجة الحرارة أقل نشاطاً وتعادل الفروق فى التركيز عن طريق الانتشار يتوقف بالتدريج . أى أنه كلما ظلت سبيكة فى درجات حرارة عالية كلما أصبحت عملية الانتشار أكثر كمالا وفى الحياة العملية يقنع الإنسان بعملية انتشار جزئية لأن الانتظار بالسبيكة المنصهرة أو القطعة المسبوكة منها حتى حدوث عملية تعادل للتركيز عند درجات الحرارة العالية غير اقتصادى ، وبالإضافة إلى المصاريف الزائدة الناتجة عن الانتظار مدة طويلة بالقطعة المسبوكة عند درجات الحرارة العالية فإن هذا الانتظار يؤدى إلى نمو الحبيبات وتكوين الحبيبات الكبيرة الغير مرغوب فيها .



200:1

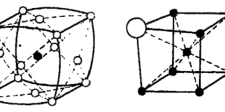
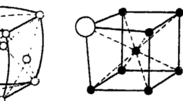
شكل (٥٦) قشور مغلقة فى تركيب داخلى لسبيكة من اليورانيوم والألومنيوم تحوى 36% بالوزن يورانيوم .

٦ ــ السبائك وتكون المحلول الصلب

تبنى ذرات العنصرين المكونين للسبيكة من هذا النوع الهيكل البللورى معاً فتحل الذرات الكبيرة (للنيكل مثلا) محل ذرات الفلز الأصلى فى الهيكل البللورى بينما تجبر الذرات الصغيرة (للكربون مثلا) نفسها على التداخل بين ذرات الفلز الأصلى فى الهيكل البللورى . والبللورات الناتجة عن هذا تسمى محاليل صلبة وحسب تكوين المحاليل الصلبة إذا نشأت عن تبادل أماكن الذرات والحلول محل الذرات فى الهيكل البللورى للفلز الأصلى أو بالتداخل بين ذرات الفلز الأصلى فى الهيكل البللورى تسمى محاليل صلبة بالإحلال أو محاليل صلبة بالتداخل .

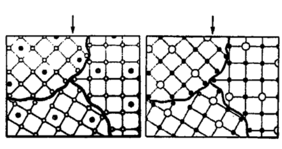
وسيتشوه الهيكل البللورى للفلز الأساسى قليلا أو كثيراً نتيجة وجود الذرة الغريبة ، مما يجعل السبيكة المكونة أكثر صلابة وصلادة عن الفلز الأساسى .

والذرات التى تداخلت فى الهيكل البللورى بالذات تؤثر فيه بشدة ، ولذلك فأى فلز أساسى لا يمكنه أن يسمح إلا بوجود عدد قليل من الذرات المتداخلة لعنصر غريب (قدرة قليلة على الإذابة) بينما امكانيات احلال ذرات فى الهيكل البللورى وتكوين محلول صلب غير محدودة فى وجود ظروف مناسبة (قدرة كبيرة على الإذابة) .

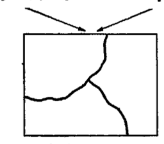
بللورة محلول صلب بالإحلال من نوع المكعب ذى ذرة فى المركز حلت الذرة الغريبة فيها مكان ذرة الفلز الأصلى .

بللورة محلول صلب بالتداخل من نوع المكعب ذى الذرات فى منتصف الأوجـه بها ذرة تداخلت فى الهيكل البللورى .



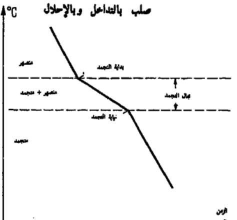
حبيبات مكونة من بللورات محلول صلب بالإحلال .

حبيبات مكونة من بللورات محلول صلب بالتداخل .



تحت المجهر يظهر فى كلتا الحالتين نوع واحد من البللورات

شكل (٥٧) إيضاح مرتب لتكوين بللورات محلول صلب بالتداخل وبالإحلال



شكل (٥٨) منحنى تبريد سبيكة ذات ذوبان تام فى الحالة الصلبة .

وعليه فإن كل بللورات السبائك ذات المحاليل الصلبة مكونة من ذرات العنصرين المكونين للسبيكة وكما يظهر من الإيضاح المرتب فى الشكل (٥٧) فى كلتا الحالتين تحت المجهر كما فى حالة الفلزات النقية : يظهر تركيب داخلى موحد من نوع واحد من البللورات ولا ترى أية فروق فى بناء الهيكل البللورى تحت المجهر .

كيف تـكون منحنيات التبريد ومنحنيات الإتزان لمثل هذه السبائك.؟

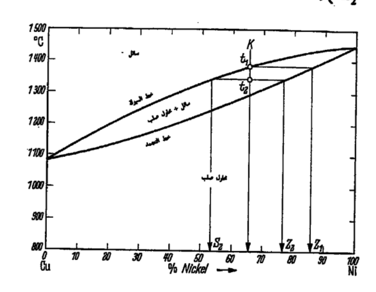
ليس لمنحنى التبريد (شكل ٥٨) نقاط توقف بل توجد « حنيتان » يقع بينهما مجال أو مدى تبريد متأخر يظهر بميل بسيط مرتبط بكمية الطاقة الحرارية الناتجة عن تكون بللورات المحلول الصلب ، وعند الحنية العليا تتكون أول بللورات المحلول الصلب وبذلك يبدأ التجمد وينتهى عند الحنية السفلى والخطوط الموصلة بين كل نقاط الحنيات العليا والحنيات السفلى لكل السبائك ذات التركيز المختلف تعطى منحنى الإتزان الذى يشبه السيجار (شكل ٥٩).

وكمثال يؤخذ منحنى إتزان سبائك النحاس (Cu) مع النيكل (Ni) (شـكل ٥٩) فالنحاس يكون مع النيكل بللورات محلول صلب ، وهما يتبلوران فى بللورات من النوع المكعب ذى الذرة فى منتصف الوجه ولهما تقريباً نفس طول ضلع الهيكل (النحاس 3.6 A)، (النيكل 3.5 A) ولذا يكونان معاً

محاليل صلبة بسهولة وبزيادة تركيز النيكل تحل ذرات النحاس فى المحلول الصلب حتى يصبح الهيكل البللورى مكونا من ذرات النيكل فقط عندما يصل التركيز أخيراً إلى نيكل نقى فقط وكلا الفلزين يكونان معاً سلسلة غير منقطعة من المحاليل الصلبة .

وتفسير منحنى الإتزان بسيط ففوق الخط المنحنى الأعلى فى الشكل (خط السيولة) تكون كل السبائك سائلة وتحت الخط المنحنى الأسفل (خط التجمد) تكون كل السبائك قد تجمدت وشرح تجمد سبيكة واحدة بتركيز K يكفى للإيضاح حيث أن كل السبائك تتجمد على نفس المنوال .

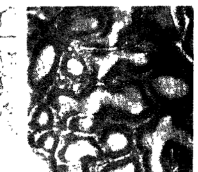
عندما تصل درجة حرارة السبيكة السائلة إلى t_1 على خط السيولة يبدأ تكون بللورات محلول صلب من ذرات النحاس والنيكل. والبللورات الأولى تحتوى على ذرات أكثر من الفلز ذى درجة الانصهار الأعلى أى أنها ستكون أغنى بذرات النيكل عن السبيكة الأصلية ذات التركيز K وإذا رسم خط أفقى من نقطة t_1 حتى يقطع خط التجمد فإن الخط العمودى الساقط منه عند تركيز Z_1 سيبين تركيب البللورات الأولى المنفصلة وعند فحص تركيب بللورات المحلول بعد مدة عند درجة الحرارة t_2 فإنها ستحوى كية أقل من النيكل (تركيز Z_2) .

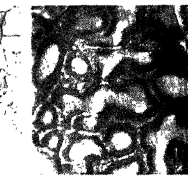


شكل (٥٩) منحنى إتزان سبائك النحاس مع النيكل

ولما كانت ذرات أكثر من النيكل ستستهلك فى بناء الهيكل البللورى أكثر مما هو موجود فى تركيز K ، فإن باقى السبيكة المنصهرة ستحوى نحاساً أكثر من تركيز K بالتالى . ويمكن معرفة تركيز باقى السبيكة المنصهرة عند أية درجة حرارة بقراءة ذلك على العمود المسقط من عند تقاطع درجة الحرارة مع خط السيولة (مثلا S_2 عند t_2) . ويشاهد من الشكل أن تركيب بللورات المحلول الصلب المنفصلة يتغير بانخفاض درجة الحرارة . فكل بللورة يختلف تركيبها عن تلك التى تكونت قبلها مباشرة ولكنها جميعاً تبقى خاضعة لعملية انتشار بينها وبين بقية السبيكة المنصهرة والبللورات المجاورة .

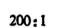
ولذلك فإن الإتزان — عند التبريد البطىء جداً — المقابل لكل درجة حرارة يتغير باستمرار هذا الإتزان بداخل البللورات وكذلك بين البللورات وباقى السبيكة المنصهرة.وبعد التجمد النهائى يكون لكل البللورات تركيب مساو لتركيز K .





200:1

شكل (٦٠) سبيكة نحاس ونيكل 30% نيكل بحالتها بعد الصب محلول صلب طبق .



شكل (٦١) نفس السبيكة بعد تشكيلها على البارد بنسبة 50% وتخميرها لمدة ٢٥ ساعة عند 850°C ، بللورات متجانسة

ولما كانت ذرات بللورات سبائك النحاس والنيكل لا تنتشر بنشاط فإن السبيكة بعد التبريد العادى لن تكون مكونة من بللورات منتظمة التركيب ولكن من محلول صلب طبق غير متجانس (شكل ٦٠) وفى قلب بللورات المحلول الصلب الطبق هذه ستوجد بللورات محلول صلب غنية بالنيكل محاطة بطبقات من محلول صلب تقل فيه باستمرار ذرات النيكل والطبقات المختلفة فى هذه البللورات ستتفاعل مع محلول النمش باختلاف عن بعضها عند تحضير عينة منها للفحص المجهرى ، ولذلك فإنه يمكن تمييز الطبقات عن بعضها تحت المجهر .

وعند تخمير سبيكة مكونة من محلول صلب طبق عند درجة حرارة بالقرب من خط التجمد يمكن أن تتعادل الطبقات ذوات التركيز المختلف عن طريق الانتشار (عملية تجانس) . ولتحاشى الحبيبات الكبيرة التى قد تنشأ فإن الإنسان يكون قبل عملية التخمير هذه نوايات بللورات عن طريق التشكيل على البارد بشدة مما سيوجد تكوينا دقيق الحبيبات عند التخمير و (شكل ٦٠) يوضح تركيباً داخلياً متجانساً لنفس سبيكة النحاس والنيكل فى(شكل ٦٠) بعد تشكيلها على البارد بنسبة50% وتخميرها بعد ذلك لمدة ٢٥ ساعة عند درجة حرارة 850°C .

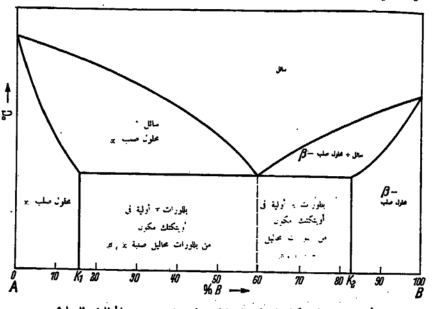
٧ ــ سبائك تكون محاليل صلبة بنسبة محدودة

لا توجد دائماً الشروط المناسبة لتكوين المحاليل الصلبة التى توجد فى الهيكل البللورى للفلزين المتقاربين النحاس والنيكل السابق شرحهما فعند وجود فلزين تختلف بللوراتهما مثل المكعب ذى الذرات فى منتصف الأوجه والسداسى لن تكون لهما القدرة على بناء بللورات محلول صلب لكل سبائكهما وعندما توجد ذرات قليلة من ذرات الفلز المتبلور فى النظام السداسى فيمكن أن تقبلها بللورات الفلز الآخر وتتكون فى هذه الحالة بللورات محلول صلب متبادلة .

أما إذا زادت فى السبائك ذرات الفلز المتبلور فى النظام السداسى فستصل إلى الحد الذى تتواجد فيه ذرات كافية منه لتكوين بللورات سداسية خاصة بها تقبل هى الأخرى وجود ذرات الفلز المتبلور فى فصيلة المكعب وينشأ ابتداء من هذا التركيز فى التركيب الداخلى للسبيكة المتجمدة مكون آخر يظهر تحت المجهر .

وإذا زادت نسبة الفلز المتبلور فى فصيلة السداسى فستكثر البللورات السداسية الجديدة إلى الحد الذى لن تجد فيه الذرات التى تتبلور فى فصيلة المكعب العدد الكافى لتكوين هيكل بللورى خاص بها وعندئذ يتكون التركيب الداخلى من بللورات محلول صلب سداسية فقط وسيوجد نوع واحد من البللورات تحت المجهر والمنطقة التى يوجد بها النوعان من البللورات إلى جوار بعضهما تسمى منطقة وجود نوعين من البللورات .

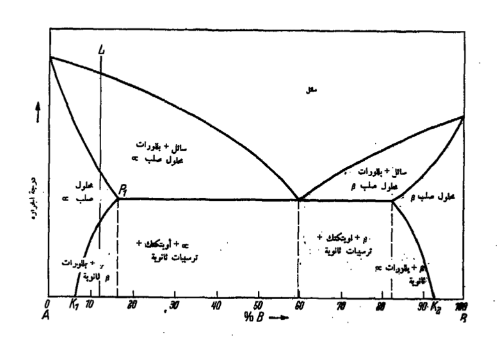
وعند معاينة شكل إتزان سبيكة تكون محاليل صلبة بنسب محدودة (شكل ٦٢) سيوجد تركيب داخلى واحد مكون من محلول صلب بالنسبة للسبائك التى تركيزها على يسار التركيز K_2 والسبائك التى تركيزها على يمين K_2 وسيرمز للمحاليل الصلبة بالحروف اليونانية وتسمى بللورات المحلول الصلب الغنية بالفلز A بللورات محلول صلب α والغنية بالفلز B ستسمى بللورات محلول صلب β والمنطقة الواقعة بين K_1 ، K_2 سيوجد فيها نظام أويتكتيكى وستنخفض درجة حرارة انصهار كل من الفلزين المكونين للسبيكة ويتلاقى خطا السيولة فى نقطة أويتكتك على خط التجمد ويتكون الأويتكتك من كل من بللورات المحاليل الصلبة α ، β وعلى يسار نقطة الأويتكتك تنفصل بللورات أولية من المحلول الصلب α وعلى يمينها تنفصل بللورات أولية من المحلول الصلب β وتتجمد السبيكة المنصهرة الباقية إلى أويتكتك دقيق الحبيبات من بللورات المحاليل الصلبة β ، α حيث تنخفض درجة الحرارة إلى خط التجمد .والخطوط التى تحدد مدى قابلية بللورات المحلول الصلب α لإذابة ذرات الفلز B ومدى قابلية بللورات المحلول الصلب β لإذابة ذرات الفلز A لا تسير فى الشكل الحقيقى عمودية تماماً كما هو مرسوم فى الشكل المبسط رقم (٦٢) بل هى منحنيات تقترب عموماً من الفلزين A ، B النقيين بانخفاض درجة الحرارة (شكل ٦٣) وتقل قدرة بللورات المحلولين الصلبين α ، β على الإذابة بانخفاض درجة الحرارة ، ويوجد تركيب داخلى موحد مكون من نوع واحد من المحاليل الصلبة فى السبائك تركيزها بين الفلز النقى A ، K_1 وبين الفلز النقى B ، K_2 .



شكل (٦٢) شكل إتزان لسبائك ذات نوعين من المحاليل الصلبة .

وينفصل من السبيكة ذات التركيز L أثناء تبريدها من الحالة السائلة عند تخطى خط السيولة بللورات محلول صلب ∝ غنية بذرات A وباقى خطوات تجمد السبيكة تسير كما فى النوع السابق الذى يتكون فيه نوع واحد من المحاليل الصلبة ، وبانخفاض درجة الحرارة حتى تمام التجمد (الوصول إلى خط التجمد) ستنفصل بللورات محلول صلب أخرى ذات تركيز مختلف وبالتبريد البطئ جداً سيتعادل التركيز المختلف بواسطة الانتشار بينما بالتبريد العادى ستنفصل بللورات محلول صلب طبقية وتحت خط التجمد يتكون التركيب الداخلى من نوع واحد من البللورات (بللورات محلول صلب ∝) وحالة التركيب الداخلى هذه تظل موجودة حتى تخطى الخط P_1K_1 باستمرار التبريد وعندئذ لا تستطيع بللورات المحلول الصلب ∝ — التى تقل قدرتها على الإذابة باستمرار — الاحتفاظ بكل ذرات الفلز B فى هيكل البللورى وتطرحها إلى حدود الحبيبات .

وتبنى ذرات B المطروحة هيكلها البللورى فوراً وتأخذ فيه بعض ذرات الفلز A وهكذا فى الحالة الصلبة تنفصل بالتبريد البطئ على حدود حبيبات المحلول الصلب ∝ بللورات محلول صلب β غنية بالفلز B وأما بالتبريد السريع فلا تصل ذرات B دائماً إلى حدود الحبيبات وعندئذ لا تحيط بللورات المحلول الصلب β المنفصلة ببللورات المحلول الصلب ∝ كشبكة بل ستتواجد موزعة توزيعاً دقيقاً فى بللورات المحلول الصلب ∝ .



شكل (٦٣) شكل اتزان لسبائك ذات نوعية من المحاليل الصلبة وترسيبات ثانوية

وتسمى بللورات المحاليل الصلبة التى انفصلت وترسبت من الحالة الصلبة تسمى بللورات ثانوية على العكس من البللورات التى انفصلت من الحالة السائلة وتسمى بللورات أولية .

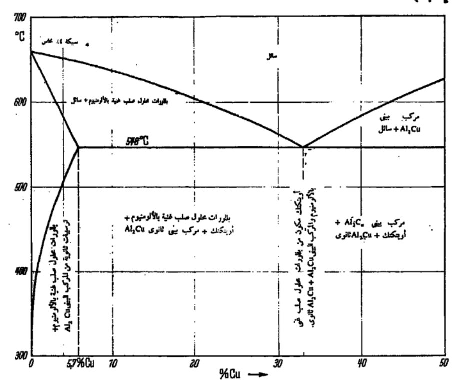
والسبائك التى يتراوح تركيزها بين نقطتى $P_1 - P_2$ فى الشكل (٦٣) تتجمد أولاً إلى المركبات

الداخلية فى الشكل الأسهل رقم (٦٢) وتقل القدرة على إذابة الذرات الغريبة فى كل المحاليل الصلبة التى تكونت عن انفصال البللورات الأولية أو المحاليل الصلبة التى تكونت مع الأويتكتك باستمرار انخفاض درجة الحرارة بنفس الطريقة التى وصفت بها السبيكة L مما يعنى أنه بالنسبة للسبائك التى يتراوح تركيزها بين $P_1 - P_2$ ستحدث أيضاً تحت خط التجمد ترسيبات لبللورات ثانوية .

وأشكال الإتزان فى كتب ومقالات علمية مفروض فيها الإلمام بعلم الفلزات لا تتعرض للوصف التفصيلى الذى عرض هنا الآن، وكثيراً ما تسجل البللورات المتكونة على أنها α أو β ، وعما إذا كانت بللورات أولية أو مكونة فى الأويتكتك أو ترسيبات ثانوية يترك ذلك للاستنتاج من شكل الإتزان .

٨ — سبائك يمكن تقسيتها

عدد من السبائك التى تكون محاليل صلبة بنسبة محدودة يمكن تقسيتها. وماهية هذا النوع من التقسية يمكن شرحه من مثال سبيكة الألومنيوم مع النحاس المحتوية على 4% نحاس وكما هو واضح من الشكل (٦٤) يمكن للألومنيوم أن يذيب فى هيكله البللورى عند درجة حرارة 548°C 5.7% من ذرات النحاس ؛ فإذا خمرنا السبيكة التى تحوى 4% نحاس بعض الوقت عند هذه الدرجة سيذوب كل النحاس الموجود (تخمير الإذابة) .



شكل (٦٤) جزء من شكل إتزان الألومنيوم مع النحاس حتى 50% نحاس .

وإذا تبع ذلك تبريد بطئ ستكون درجة حرارة 500°C هى النقطة التى لا تستطيع بللورات المحلول الصلب عندها إذابة أكثر من 4% من ذرات النحاس ، وإذا استمر التبريد فيجب أن تنفصل ذرات

من النحاس بسبب عدم قدرة بللورات المحلول الصلب على الإذابة ولا ينفصل النحاس نقياً من الهيكل البللورى للمحلول الصلب بل سيكون مع الألومنيوم المركب البينى القاسى Al_2Cu وبواسطة هذا المركب الصلد الموزع بانتظام فى التركيب الأصلى تزيد قوة وصلادة هذه السبيكة .

وتحتاج ذرات النحاس للانفصال وتكوين المركب، بعض الوقت الذى تجده بالتبريد البطئ وإذا لم تترك السبيكة لتبرد ببطء بل بردت بسرعة : سقيت فى الماء ستبقى ذرات النحاس موجودة فى الهيكل البللورى للألومنيوم فى عملية « ذوبان اضطرارى » .

وإذا ظلت هذه العينة المسقاة عند درجة حرارة الجو العادية (خزنت) تحاول ذرات النحاس أن تسترجع أو تعوض عملية الترسيب التى عطلت فتبدأ فى التجوال ، ولما كانت ذرات الألومنيوم عند درجة حرارة الجو العادية تقترب من بعضها، يصعب التجوال على ذرات النحاس فى الهيكل البللورى للألومنيوم وتكف عن محاولتها لتكوين المركب البينى Al_2Cu ولكنها رغم ذلك تنجح فى أن تتكور فى كثير من مواضع الهيكل البللورى. وتعطل عمليات التجمع والتكور — التى لا ترى تحت المجهر — عمليات الإنزلاق . وتزيد تبعاً لذلك صلادة وحد مرونة وقوة السبيكة مع عدم الإقلال من المرونة (تقسية على البارد) .

ويمكن تيسير عملية التجوال للذرات النحاس بشئ من الحرارة فيتكون فى بعض الأماكن Al_2Cu ومع ذلك لا يجب أن ترتفع درجة الحرارة كثيراً (فوق 170°C) حتى لا ينفصل المركب البينى فى صورة تظهر تحت المجهر كما فى الشكل (٦٥) حيث قسيت السبيكة عند درجة حرارة أعلى من اللازم . فإنه إذا انفصل Al_2Cu فى صورة تظهر تحت المجهر تقل القسوة والقوة لأن عملية الإنزلاق فى الهيكل البللورى لن تتعطل بشدة وكثير من السبائك من هذا النوع لا يمكن تقسيتها عند درجة حرارة الغرفة ، بل يجب حثها على ذلك بتسخينها . (سبائك تقسى على الساخن) .

وسبائك الألومنيوم مع النحاس تتصلد ببطء شديد ، ويمكن استعمالها فى الصناعة بعد إضافة كميات صغيرة من الماغنيسيوم الذى يزيد سرعة عملية التقسية .

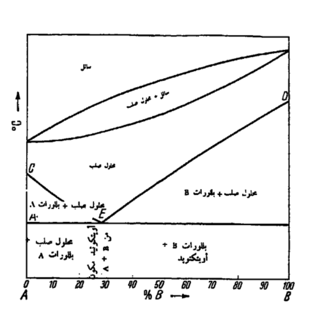
وتبقى السبائك التى بردت بسرعة (سقيت) بعد عملية تخمير الإذابة فى حالة محاليل صلبة ولذلك تكون لينة وتقبل التشكيل. والقطع المشكلة يمكن تقسيتها عند درجات حرارة لا تؤثر فى بقية خواص السبيكة. والسبائك المقساة على البارد يجب تشكيلها بعد عملية تخمير الإذابة والتسقية مباشرة ومسامير البرشام المصنوعة من الفلزات الخفيفة يجب حفظها بعد تسقيتها من درجة حرارة تخمير الإذابة فى ثلاجات ، فعن طريق الاحتفاظ بها فى درجات حرارة منخفضة تتأجل عملية التقسية كثيراً وبذلك يصبح من الممكن الاحتفاظ بمخزون كبير من مسامير البرشام الجاهزة للاستعمال التى تتصلد بعد استعمالها فى درجات حرارة الجو العادية فى المنشأ الذى ركبت فيه .

500 : 1

شكل (٦٥) سبيكة ألومنيوم مع نحاس 4% نحاس مقساة عند درجة حرارة مرتفعة عن المطلوب . ترسيبات دقيقة من Al_2Cu تمكن رؤيتها تحت المجهر .

٩ — التغيرات فى الحالة الصلبة

كثير من السبائك لا يهدأ بعد أن يتجمد ، وقد رأينا تغيرات فى الحالة الصلبة نتجت عن علاقة بين قدرة الفلزات على الإذابة وبين التركيز ودرجة الحرارة و (شكل ٦٦) يصور احتمالات امكانية مثل تلك التغيرات فى حالة مثالية فالفلزان النقيان B ، A لهم فصائل بللورية متعددة (أنظر ص ١٤) فالهيكل البللورى للفلز A يغير نفسه عند درجة حرارة نقطة C ، الهيكل البللورى للفلز B عند درجة حرارة نقطة D وفوق درجات الحرارة المذكورة يكون الفلزان مع بعضهما محلولا صلباً وسوف تتزحزح درجات حرارة تغير الهيكل البللورى لهما فى الحالة النقية نتيجة تكوين السبيكة منهما إلى درجات حرارة أقل والتركيبات البللورية الجديدة تحت درجات الحرارة D ، C غير صالحة لتكوين محاليل صلبة .



شكل (٦٦) التغيرات فى الحالة الصلبة .

وتتجمد السبيكة السائلة أولا فى كل التركيز إلى بللورات محلول صلب متجانسة والتطورات التى تحدث باستمرار التبريد للمحلول الصلب تحت التجمد تشابه عملية التجمد للأويتكتك البسيط (شكل ٤٣) صفحة ٣٦ (ومكان السبيكة السائلة هناك يحتله فى هذه الحالة المحلول الصلب التى ينفصل منه حسب التركيز باستمرار التبريد حتى الخط CED إما بللورات أولية من A أو B ويقترب بذلك تركيز المحلول الصلب من تركيز النقطة E أوبللورات المحلول الصلب ذات التركيز E تتحلل — دون التحول إلى بللورات أولية — إلى خليط يشبه الأويتكتك — دقيق من بللورات A ، B الذى يسمى أويتكتويد (تحلل أويتكتويدى) .

وينشأ الأويتكتويد عند التحول فى الحالة الصلبة بينما ينشأ الأويتكتك — كما هو معروف عند التحول من الحالة السائلة ويظهر الأويتكتويد فى السبائك على يمين ويسار النقطة E بجانب البللورات الأولية من A ، B التى انفصلت تحت CE ، DE (سبائك تحت الأويتكتويد وفوق الأويتكتويد) .

١٠ — تغيرات الصلب فى الحالة الصلبة بالتبريد البطىء

درسنا فيما سبق (صفحة ٢١) أن ذرات الحديد التى المرتبة فى الهيكل البللورى المكعب ذى ذرة فى المركز (حديد فى الفصيلة α) عند درجات حرارة الجو العادية تعيد ترتيب نفسها بالتسخين وتكون

هيكلا بللوريا ذا ذرات فى منتصف الأوجه (حديد فى الفصيلة γ) عند وصول درجة الحرارة إلى 911°C (نقطة Ac_3) . ويحدث التحول من $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ فى الحديد النقى بالتسخين وبالتبريد بسرعة ودون تعطيل .

وليس هناك استعمالات للحديد النقى فى الصناعة برغم مالسبائكه العديدة من أهمية كبيرة وفى مقدمتها سبائكه مع الكربون وفى المدى الصغير للسبائك بين الحديد النقى وحتى 2.06% كربون توجد جميع أنواع الصلب من صلب التسليح الطرى حتى صلب العدة الصلد وقد جرت العادة على تسمية هذه الأنواع من سبائك الحديد مع الكربون صلب غير مضاف إليه عناصر سبك - والتحدث عن صلب مضاف إليه عناصر سبك إذا أضيف إليه عن قصد عناصر أخرى بقصد تحسين خواصه .

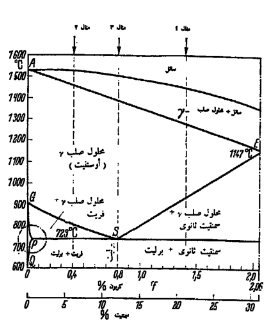
والشكل (٦٧) يبين جزء الصلب من شكل إتزان سبائك الحديد مع الكربون وهذا الجزء يشبه كثيراً شكل الإتزان السابق شرحه للتغيرات فى الحالة الصلبة (شكل ٦٦) وتتجمد السبيكة هنا أيضاً أولا إلى محلول صلب يتعرض لتغيرات أخرى فى الحالة الصلبة باستمرار التبريد .

ويقع الأويتكتويد عند 0.8% كربون والمنحنى GSE يصل نقط التحول من $\gamma \rightleftharpoons \alpha$ (نقطة A_3) لكل السبائك حتى 2.06% مع بعضها .

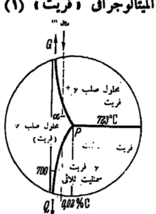
وتستطيع بللورات مكعبات γ ذات الذرات فى منتصف الأوجه والموجودة بين خط التجمد والخط G S E استقبال والاحتفاظ بكمية كبيرة من الكربون داخل الهيكل البللورى ، وبذلك تكون بللورات محلول صلب بالتداخل وعند درجة حرارة 1147°C تستطيع بللورات المحلول الصلب γ أن تذيب حتى 2.06% فى الحالة الصلبة . وبانخفاض درجة الحرارة تقل القدرة على الإذابة وتصل إلى أدنى قدرتها عند درجة حرارة 723°C (نقطة A_1) حيث تذيب 0,8% كربون ولا تستطيع بللورات المحلول الصلب γ أن تتواجد فى درجات حرارة أقل من 723°C ومجال بللورات المحلول الصلب γ (GSEAG) يسمى أيضاً منطقة الذوبان فى الحالة الصلبة والتركيب الداخلى المتواجد فى هذه المنطقة يسمى الأوستنيت (سمى على اسم العلامة و . س . روبرت أوستن).

وبللورات المحلول الصلب α المكعبة ذات الـــذرة فى المركز ليس لديها مكان كاف لذرات الكربون وقـــد تنجح إحدى ذرات الكربون من حين لآخر فى أن «تحشر» نفسها بين ذرات الحديد وبللورات مكعبات α فى أنسب الأحوال عند درجة 723°C وفى أن تحتفظ بالنسبة الضئيلة

0,02% كربون ذائبة فيها وداخل المنطقة GPQG (شكل٦٨) يتكون التركيب الداخلى من بللورات المحلول الصلب ∝ التى تسمى فى علم الميتالوجراف «فريت» (١) .



شكل (٦٧) جانب الصلب من شكل إتزان سبائك الحديد مع الكربون .



شكل (٦٨) قطاع من الشكل (٦٧) .

وإذا أردنا ملاحظة كيف يتغير التركيب الداخلى لبعض سبائك الصلب الكربونى بعد تجمدها من الحالة السائلة أثناء التبريد حتى درجة حرارة الجو العادية، فلن نعيد عملية تكون المحلول الصلب من الحالة السائلة التى عرفناها مسبقاً وما يهمنا الآن هو تحول بللورات المحلول الصلب γ تحت الخط GSE .

ولما كان الكربون يعطل ذرات الحديد عند إعادة بناء الهيكل البللورى ، فإن عملية التحول لا تسير بسهولة كما فى حالة الحديد النقى وبالتبريد السريع فإن هذا التحول لن يصبح كاملا ولا يمكن للتركيب الداخلى أن يتكون كما هو فى حالة التبريد البطئ ، ولذلك فإنه فى الأمثلة الآتية للتبريد نفرض أن الصلب سيبرد ببطئ لدرجة أنه مع كل عمليات التعطيل التى يسببها الكربون فإن كل عمليات التحول ستتم .

مثال ١ : صلب يحتوى على 0,01% كربون (شكل ٦٨) عندما تنخفض درجة الحرارة إلى تحت الخط GS تبدأ ذرات الهيكل البللورى فى إعادة ترتيب نفسها وتكون بللورات ∝ (فريت) وباستمرار التبريد تتحول بللورات γ أخرى حتى تنتهى جميعها تماماً عند الخط PG ومن درجة الحرارة هذه حتى الخط PQ يمكن لبللورات المحلول الصلب ∝ أن تحتفظ بال 0,01% ك ذائبة فى نفسها وعند تخطى الخط PQ تقل قدرة الفريت على الإذابة إلى أقل من 0,01% وتبدأ ذرات المحلول الصلب ∝ الذى يبرد باستمرار وتقل سعة ذبذباتها بالتالى فى طرد ذرات الكربون الزائدة ولا تترك ذرات الكربون الهيكل البللورى وحدها ولكنها تتداخل مع ثلاث من ذرات الحديد مكونة المركب البينى كربيد الحديد Fe_3C (سمنتيت) على حدود حبيبات الحديد كسمنتيت من الدرجة الثالثة (سنسميه ثلاثى) (٢) (شكل ٦٩) .

---

(١) من اللاتينية حديد = Ferrum

(٢) سيتضح لنا لماذا سمى هذا السمنتيت ثلاثى أو من الدرجة الثالثة عند رؤية شكل إتزان سبائك الحديد مع الكربون كاملا .

مثال (٢) صلب يحتوى على 0,4% كربون (شكل ٦٧) عند تخطى الخط GS يبدأ تكون الفريت (بللورات المحلول الصلب α) الذى يستطيع الاحتفاظ بقدر قليل جداً من الكربون ذائباً فى نفسه وتبدأ ذرات الكربون الزائدة عن حاجة الفريت فى التجوال وتختفى أولا بللورات الأوستنيت التى لا تزال موجودة بكثرة وباستمرار التبريد تزداد حبيبات الفريت ويزداد تركيز الكربون فى بللورات الأوستنيت التى مازالت موجودة وعند الوصول إلى الخط PS (A_1) عند درجة حرارة 723°C يتكون التركيب الداخلى من جزءين متساويين من الفريت والأوستنيت وقد زادت نسبة الكربون فى بللورات الأوستنيت حتى وصلت إلى التركيز الأويتكتويدى (0,8%) وتحت درجة حرارة 723°C لا تكون حبيبات الأوستنيت موجودة فتتحول بنقطة توقف تقع عند الخط PS (A_1) إلى فريت الذى بقدرته الضعيفة على إذابة الكربون ليس لديه أماكن فى الهيكل البللورى لذرات الكربون التى عندئذ تأخذ معها ثلاث ذرات من الحديد تتحد معهم وتكون كربيد الحديد وبللورات الفريت التى تكونت من بللورات الأوستنيت (بللورات محلول صلب γ متحللة) يتخللها رقائق من كربيد الحديد التى تظهر فى العينة تحت المجهر بالتكبير الشديد عادة كرقائق دقيقة جداً (شكل ٧٠) واللمعان الذى يظهر للعينة تحت المجهر الشبيه بلمعان اللؤلؤ لدقائق كربيد الحديد متخللة حبيبات الفريت أعطى لهذا التركيب الداخلى اسم برليت (لؤلؤ Pearl) .



400 : 1

شكل (٦٩) صلب يحتوى على كربون قليل جداً . فريت وسمنتيت ثلاثى .



1000 : 1

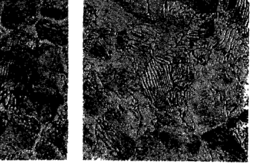
شكل (٧٠) بللورات البرليت بالتكبير الشديد .

وكل حبيبة برليت هى فى نفسها أويتكتويدية أى تحوى 0,8% كربون ولذلك فيمكن من التركيب الداخلى للصلب الغير مضاف إليه عناصر أخرى – مع فرض أن التبريد بطئ – تحديد نسبة الكربون فإذا تكون التركيب الداخلى من 50% من حبيبات الفريت الخالية من الكربون والنصف الآخر من البرليت الذى تحوى كل من حبيباته 0,8% كربون فإن الصلب الذى أخذت منه العينة يحوى 0,4% كربون (١) و (شكل ٧١) يبين التركيب الداخلى لصلب تحت الأويتكتويد تحت المجهر .



400 : 1

شكل (٧١) صلب تحت الأويتكتويد مكون من فريت وبرليت .



400 : 1

شكل (٧٢) صلب أويتكتويدى برليت خالص .

400 : 1

شكل (٧٣) صلب فوق الأويتكتويد برليت مع شبكة سمنتيت

---

(١) نظرياً يحتوى هذا التركيب أيضاً بعض السمنتيت الثلاثى ولما كان السمنتيت الثلاثى يتبلور على رقائق البرليت فإنه فى الصلب المحتوى على أكثر من ٠,٠٢٪ كربون لا يظهر كجزء خاص من التركيب الداخلى .

وعند وجود تركيب دقيق الحبيبات وتكبير غير كاف لا يمكن تمييز رقائق البرليت تحت المجهر وترى حبيبات البرليت كبقع داكنة (شكل ٧٤) .

- وكربيد الحديد مثل كثير من المركبات البينية — عكس البرليت الطرى جزء صلد من التركيب الداخلى وكلما زادت كمية البرليت فى صلب ما كلما زادت صلادته وقوته وكلما قلت قدرته على التشكل وشكل (٧٥) يوضح الفرق فى الصلادة بين الفريت والبرليت حيث ضغط منشور جهاز قياسى الصلادة بنفس الحمل فى بللورات كل من البرليت والفريت ولم يستطع المنشور التغلغل لعمق كبير فى بللورات البرليت الصلدة كما فى الفريت اللين ، ولذلك ترك فى البرليت أثراً أصغر من الفريت .

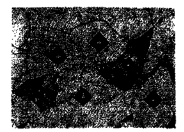
مثال (٣) صلب فيه 0.8% كربون عند هذا التركيز يكون لحبيبات الأوستنيت تركيز الأويتكتويد ، ولذلك لا تحتاج لأن تذيب كربونا ومثل هذا الصلب لا يحتاج للتحول فى الحالة الصلبة إلى مدى من درجات الحرارة ليتجول فيه الكربون وتتحول حبيبات الأوستنيت هنا مباشرة عند نقطة توقف إلى برليت ويبين (شكل ٧٢) تركيب داخلى لصلب أويتكتويد مكون من البرليت أى بللورات فريت يتخللها رقائق كربيد الحديد .

مثال (٤) صلب يحتوى على 1.4% كربون تحتوى حبيبات الأوستنيت فى هذا الصلب كربون أكثر من تركيز الأويتكتويد ولكن قدرتها على الإذابة فى منطقة 8 كبيرة لدرجة أنه يمكنها الاحتفاظ بالكربون الزائد فى حالة ذوبان .

وعندما تنخفض درجة الحرارة عن الخط SE تقل قدرة بللورات المحلول الصلب 8 على إذابة الكربون ويطرد الأوستنيت الكربون الزائد على شكل سمنتيت (كربيد الحديد) إلى حدود الحبيبات وعند درجة حرارة 723°C تكون حبيبات الأوستنيت قد طردت كمية من الكربون بحيث أصبح تركيبها هى نفسها هو التركيب الأويتكتويدى وتتحول حبيبات الأوستنيت إلى حبيبات برليت كما فى المثال السابق يحيط بها السمنتيت السابق انفصاله على شكل طبقات وعند تجهيز عينة مجهرية من هذا الصلب تتكسر هذه الطبقات المحيطة وترى تحت المجهر كشبكة — شبكة سمنتيت (سمنتيت ثانوى) (١) (شكل ٧٣) ويزداد سمك هذه الطبقات الرقيقة حتى نسبة 2.06% كربون .

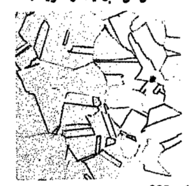
100:1

شكل(٧٤) تركيب داخلى فريتى برليتى بتكبير بسيط .



400:1

شكل (٧٥) بنفس التحميل الأثر الناتج عن جهاز قياس الصلادة فى بللورات كل من البرليت والفريت.



200 : 1

شكل (٧٦) التركيب المجهرى لصلب نيكل — كروم أوستنيتى غير قابل للصدأ

---

(١) كما ذكر فى حالة السمنتيت الثلاثى أو من الدرجة الثالثة سيستعمل هذا التعبير عند دراسة شكل الإتزان الكلى لسبائك الحديد مع الكربون لزيادة الايضاح أى أنه تكون فى الدرجة الثانية .

١١ — تأثير سرعة التبريد على التغيرات فى الصلب

كيف تتأثر خطوات التغير إذا أخذ الإنسان قطعة من الصلب سخنت حتى منطقة γ ولم يترك لها فرصة لتبرد ببطء ، بل أخذها ساخنة من الفرن ووضعها فى ماء بارد أى سقاها ؟ لن تجد ذرات الكربون التى خرجت من مكانها فى المحلول الصلب مضطرة بسبب الوصول إلى درجة الحرارة المنخفضة — لن تجد طريقها بنفس السرعة ومكعبات γ تحولت إلى مكعبات α الأصغر التى تملأ فيها ذرة حديد فراغ المكعب. هذا الفراغ الذى تتواجد فيه مضطرة بعض ذرات الكربون ، وهذه الحالة الاضطرارية (الذوبان الاضطرارى) تشد الهيكل البللورى ، مما يجعل الصلب شديد الصلادة ويرى تحت المجهر عندئذ تركيب داخلى آخر مكون من إبر رفيعة كثيرة تسمى مارتنزيت (سميت على اسم العلامة أ. مارتنز) ويقال إن الصلب قد تصلد .


400:1

شكل (٧٧) التركيب الداخلى للصلب المقسى مارتنزيت .

وإذا سخنت عينة الصلب التى تصلدت إلى درجات حرارة تحت A_1 فستكتسب ذرات الكربون بعضاً من حرية الحركة وتنجح فى الخروج من حالة الذوبان الاضطرارى باضطراد وتكوين كريات من كربيد الحديد تتوزع دقيقة داخل التركيب الداخلى . وبذلك تقل صلادة العينة وتزداد متانتها ثانية والتسخين بعد عملية التقسية يسمى تطبيع . وكلما زادت درجة حرارة التخمير كلما أمكن لذرات الكربون أن تحرر نفسها من الحالة الاضطرارية وعملية المعالجة الحرارية المكونة من عملية التقسية وعملية التطبيع تسمى تقسية وتطبيع ، وللصلب المعامل بهذه المعاملة صلابة عالية بالإضافة إلى المتانة الجيدة التى كثيراً ما يتطلبها الصلب المستخدم فى المبانى ، وعملية التقسية المتبوعة بعملية التطبيع تناسب أنواع الصلب المحتوية على من 0.3 — 0.6% كربون .

وبعد التبريد البطئ يتكون التركيب الداخلى لصلب يحتوى على 0.4% كربون من جزءين متساويين من الفريت ورقائق البرليت وإذا بردنا بسرعة أكبر سينتشر الكربون البطئ انتشاراً غير كامل مما يؤدى إلى أنه أثناء التغير بين A_1، A_3 لن تتكون كمية كافية من الفريت قبل الأويتكتويدى.وتبقى كميات من بللورات الأوستنيت أكثر مما يعادل 0.4% كربون وبعد تحلل بللورات المحلول الصلب γ تحت A_1 ستتواجد كميات أكثر من بللورات البرليت فى التركيب مما لو كان التبريد بطيئاً وعندئذ لا تكون حبيبات البرليت أويتكتويدية بل تحتوى أقل من 0.8% كربون وبذلك يموه وجود كربون أكثر من الحقيقة .

وتصبح رقائق كربيد الحديد فى بللورات البرليت أرق بزيادة سرعة التبريد وإذا استمرت زيادة سرعة التبريد تأتى اللحظة التى لا يمكن عندها تكون الفريت ويصبح التركيب الداخلى عبارة عن خطوط دقيقة من بللورات البرليت تظهر تحت المجهر بعد تظهيرها كبقع غير محددة مختلفة فى تدرج الألوان .

وعند التبريد السريع سيتبقى جزء من الكربون عند التحول داخل التركيب الداخلى ويظهر جزئياً تركيب الباينيت (أنظر فصل ١٢) أو أيضاً المارتنزيت وفى هذه الأجزاء من التركيب الداخلى توجد جزر متداخلة من البرليت فى خطوط دقيقة تكثر وتقل حسب سرعة التبريد وعند زيادة سرعة التبريد عن ذلك سيتكون عدد أقل من جزر البرليت حتى إنه عند التبريد السريع قد يتبقى كل الكربون فى حالة ذوبان اضطرارى وينشأ تركيب مارتنزيتى خالص .

وبعمليتى التقسية والتطبيع لا تنتهى امكانيات تغيير التركيب الداخلى ، وبالتالى خواص الصلب عن طريق المعاملات الحرارية ، وأسماء طرق المعاملات الحرارية المتعددة كانت لوقت طويل غير موجدة ولتجنب سوء الفهم — على سبيل المثال الذى قد ينشأ بين المنتج والمستهلك فى التفسير المختلف لأحد الأسماء — أصدرت هيئة التوحيد القياسى الألمانية النشرة رقم DIN-Blatt 17014 التى حددت بوضوح الأسماء المرتبطة بعمليات المعاملات الحرارية للصلب .

ومن الجمل القليلة القصيرة التى تصف فيها نشرات هيئة التوحيد القياسى الألمانية طرق المعاملات الحرارية المختلفة لا يستطيع الإنسان معرفة ما يحدث للصلب إذا عومل حسب هذه النشرات ، ولذلك ستؤخذ ثلاث عينات من الصلب وتعامل كما جاء فى ثلاث من نشرات هيئة التوحيد القياسى الألمانية وتلاحظ «الحياة داخل العينات» .

مثال (١) تخمير دفع الاجهادات : حسب DIN 17014 التسخين عند درجة حرارة أقل من A_1 (723°C) غالباً عند 650°C يتبع ذلك تبريد بطئ لتتوازن الاجهادات الداخلية دون تغير فى الخواص الموجودة .

عند درجات الحرارة هذه وتفضل درجات الحرارة بين 550°C و 650°C لا يتغير ظاهرياً التركيب الداخلى للصلب ، ولكن يصبح للذرات من حرية الحركة ما يكفى لأن تتحرر من أية أوضاع اضطرارية أصبحت فيها نتيجة تشغيل سابق (طرق — درفلة لحام . الخ) . أو نتيجة تبريد غير منتظم بعد صبها وتجمدها من الحالة السائلة وتتعادل الاجهادات الداخلية نتيجة لذلك ولكى لا تنشأ اجهادات أخرى فى القطعة وخاصة عند اختلاف أبعاد وسمك القطعة موضع المعاملة الحرارية يجب التبريد ببطء بعد تخمير رفع الاجهادات .

ولا يمكن استخدام تخمير رفع الاجهادات عند درجات الحرارة هذه للصلب المقسى لأن الصلادة التى اكتسبت ستقل وكذلك لا يجب تخمير الصلب المقسى المطبع تخمير رفع الاجهادات عند درجات حرارة أعلى من درجات حرارة التخمير هذه وإلا ستقل الصلابة والصلادة.وبالنسبة للتشغيل على البارد يجب حساب أنه فى مجال التشكيل الحرج بين 8-12% وخاصة فى أنواع الصلب القليلة الكربون ألا تزيد درجة الحرارة عن 650°C وإلا فستنتج حبيبات كبيرة نتيجة إعادة التبلور.

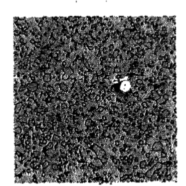
مثال (٢) التخمير التام حسب DIN 17014 التسخين حتى درجة حرارة تحت A_1 مباشرة (يمكن أيضاً فوق A_1 مباشرة) أو التذبذب حول A_1 يتبع بتبريد بطئ للوصول إلى حالة لينة (طرية) .

أنواع الصلب الغنية بالكربون عند التركيز الأويتكتويدى وأنواع الصلب فوق الأويتكتويدى تحوى كثيراً من رقائق الكربيد التى تؤثر كثيرا على قطع العدة عند تشكيلها بالقطع فإذا خمرت هذه القطع بالتذبذب حول درجة حرارة 723°C فسيذوب بعض رقائق كربيد الحديد عند كل مرة ترتفع فيها درجة الحرارة عن نقطة A_1 وسيختفى الكربون فى حبيبات الأستنيت التى تكونت من جديد وستتداخل بقية السمنتيت الباقية عند انخفاض درجة الحرارة بعد ذلك إلى أقل من 723°C مع الكربيد الذى انفصل ثانية إلى شكل كروى وبعد تذبذب كاف لن يحوى التركيب الداخلى للصلب أية رقائق من الكربيد بل كريات سمنتيت (سمنتيت حبيبى) وبجانب خواص التشغيل الأحسن فإن هذا التركيب يشكل الحالة المناسبة لعملية التقسية فيما بعد .



500:1

شكل (٧٨) برليت رقائق .



500 : 1

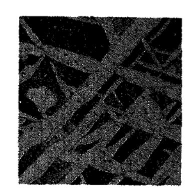
شكل (٧٩) برليت حبيبى .

و (الشكل ٧٨) يبين بللورات رقائق البرليت بتكبير شديد وفى الشكل المجاور (٧٩) صورة التركيب الداخلى لعينة من نفس الصلب بعد تخميرها تخميراً تاماً تحللت رقائق البرليت تماماً وكونت كريات سمنتيت وكريات السمنتيت الموجودة داخل الفريت الطرى ستنكسر بسهولة عند تشكيلها بالقطع عن رقائق الكربيد المتصلة ببعضها . وأصبح الصلب أطرى وأسهل فى التشغيل ، وبالنسبة لأنواع الصلب ذات نسب الكربون القليلة والمتوسطة (أقل من 0,5%) لن يحسن التخمير التام خاصية التشغيل بالقطع فهذه الأنواع من الصلب يمكن أن تصبح « طرية جداً » وتتعجن « على سن آلة القطع » ورغم ذلك فالتخمير التام مجد لأنواع الصلب قليلة الكربون إذا كانت ستشكل بالدرفلةالثنى ، السحب ، البثق . الخ . على البارد .

ويمكن أن تخمر هذه الأنواع من الصلب تخميراً تاماً بما فيه الكفاية بحفظها لمدة طويلة عند درجات حرارة تحت نقطة A_1 مباشرة وبذلك تأخذ بللورات ألفا حسب قدرتها على الإذابة (0,02%) كميات صغيرة من الكربون وتطردها ثانية للخارج ورقائق الكربيد تتحلل نتيجة التسخين الكافى الطويل الأمد (ساعات عديدة) تدريجياً إلى قطع صغيرة تتكور بالتالى — تحت تأثير الشد السطحى — إلى كريات صغيرة .

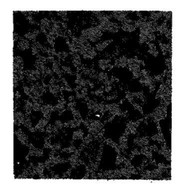
مثال (٣) المراجعة حسب DIN 17014 التسخين حتى درجة حرارة أعلى قليلا من A_3 (فى الصلب فوق الأويتكتويدى فوق A_1 (يتبع ذلك تبريد فى جو هادئ . نتيجة هذه المعاملة الحرارية يستفاد من التحول من γ إلى ∝ وكمثال نختار قطعة من الصلب المصبوب تحوى 0,4% كربون .

حبيبات المحلول الصلب γ فى الصلب المصبوب كثيراً ما تنمو إلى حبيبات كبيرة والكربون الكسول عن الانتشار لن يجد الكفاية فى الوقت المتاح له غالباً عند التحول من γ إلى ∝ ليرجع نفس الطريق لبناء التركيب الداخلى الفريتى البرليتى العادى وسيركز نفسه لذلك فى مواضع كثيرة داخل بللورات الأوستنيت الكبيرة إلى جزر ذات تركيز أويتكتويدى



100 : 1

شكل (٨٠) صلب مصبوب غير معامل حرارياً (تكوين فيدمان) .

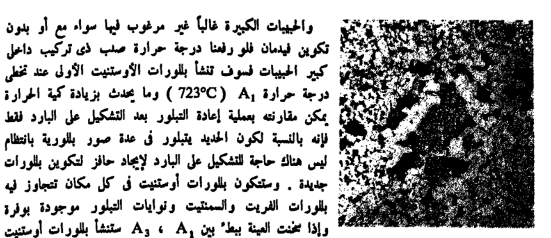


100 : 1

شكل (٨١) صلب مصبوب معامل حرارياً .

وأثناء ذلك يبنى الفريت نفسه مضطر فى مستويات مفضلة داخل حبيبات الأوستنيت وبعد التحول يكون للصلب ما يسمى « بتكوين فيدمان » (شكل ٨٠) وتكوين فيدمان يمكن تجنبه بواسطة تبريد بطئ خاص مما قد يؤدى إلى تكوين حبيبات أكبر وخواص القوة الضعيفة للتركيب كبير الحبيبات يمكن تخفيفها فى وجود تكوين فيدمان لأنها تؤدى إلى توزيع أكثر انتظاماً للفريت والبرليت .

والعلاقة بين تكوين فيدمان وحجم الحبيبات يرى بوضوح فى الشكل (٨٢) حيث كان يوجد قبل التحول أوستنيت مختلف حجم الحبيبات وعند التحول نشأت من الحبيبات الصغيرة حبيبات عادية من الفريت والبرليت بينما الحبيبات الكبيرة قسمت إلى تكوين فيدمان .

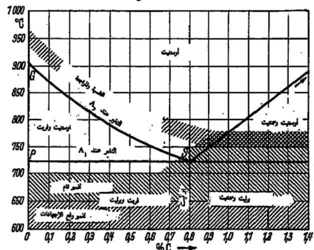


50:1

شكل (٨٢) صلب مصبوب ذو حبيبات مختلفة الحجم تكوين فيدمان فى الحبيبات الكبيرة فقط

والحبيبات الكبيرة غالباً غير مرغوب فيها سواء مع أو بدون تكوين فيدمان فلو رفعنا درجة حرارة صلب ذى تركيب داخلى كبير الحبيبات فسوف تنشأ بللورات الأوستنيت الأولى عند تخطى درجة حرارة A_1 (723°C) وما يحدث بزيادة كمية الحرارة يمكن مقارنته بعملية إعادة التبلور بعد التشكيل على البارد فقط فإنه بالنسبة لكون الحديد يتبلور فى عدة صور بللورية بانتظام ليس هناك حاجة للتشكيل على البارد لإيجاد حافز لتكوين بللورات جديدة . وستتكون بللورات أوستنيت فى كل مكان تتجاوز فيه بللورات الفريت والسمنتيت وزوايات التبلور موجودة بوفرة وإذا سخنت العينة ببطء بين A_1 ، A_3 ستنشأ بللورات أوستنيت جديدة قليلة تنمو باضطراد وتقضى على التركيب القديم ، وإذا رفعنا درجة الحرارة بسرعة خلال هذه المنطقة ($A_1 - A_3$) فستنشأ بللورات ɣ صغيرة فى مواضع كثيرة سرعان ما تزاحم بعضها وعلى ذلك فأول شرط لتكوين تركيب داخلى دقيق الحبيبات فى عملية المراجعة هو تسخين العينة السريع خلال منطقة التحول وإذا تركنا العينة فى منطقة ɣ مدة أطول من اللازم لحدوث التغير (زيادة الزمن) ستبتلع الحبيبات الأوستينيتية التى تكونت من جديد بعضها وتنمو البللورات الأكثر ثباتاً على حساب جاراتها (نمو الحبيبات) ولذلك يجب الحرص على ألا تبقى العينة فى عملية المراجعة مدة طويلة فى التسخين . ونمو الحبيبات لا يساعد فقط بزيادة زمن التسخين أى بالبقاء مدة أطول عند درجة الحرارة الصحيحة ، بل أيضاً إذا زادت درجة الحرارة بمعنى إبقاء العينة لوقت قصير عند درجات حرارة أعلى من اللازم . ولتجنب التسخين الزائد عن الحد تسخن العينة بقدر بسيط (20-30°C) فوق نقطة A_3 والتبريد ببطء شديد (زيادة الزمن) فى الفرن ستؤدى هى الأخرى إلى المساعدة على تكوين حبيبات كبيرة .

وبعد ماتمت دراسته حتى الآن يجب فى عملية مراجعة الصلب التسخين بسرعة وبقدر بسيط فوق نقطة A_3 ، وتركها عند هذه الدرجة وقتاً قصيراً وبعدها تبرد تبريداً ليس بطيئاً أكثر من اللازم (فى الهواء) للحصول على تركيب داخلى دقيق الحبيبات كما فى (شكل ٨١) نتيجة تخطى المنطقة بين A_3 ، A_1 مرتين وبالتالى تتغير الحبيبات مرتين وقد تكفى هذه المعاملة لقطع الصلب البسيطة الغفلة لأن تنسيق وتجانس الحبيبات سيحدث بهذه الطريقة أما بالنسبة للقطع ذات الأشكال المعقدة فقد تنشأ اجهادات داخلية



شكل (٨٣) الجزء المهم بالنسبة للمعاملات الحرارية من شكل إتزان سبائك الحديد مع الكربون .

نتيجة التسخين والتبريد السريع وفى مثل هذه الأحوال تربط عملية تخمير رفع الاجهادات بعملية المراجعة وتجرى المعاملة الحرارية على النحو التالى :

١ — التسخين البطئ حتى تحت نقطة A_1 بقليل (حوالى 680°C) .

٢ — تسخين شديد للوصول بالقطعة بسرعة فى منطقة γ .

٣ — عدم ترك القطعة فى المنطقة فوق A_3 مدة أطول من اللازم للتحول التام (١ — ٢ دقيقة لكل م من سمك القطعة على أية حال ليس أقل من ٢٠ دقيقة) .

٤ — تبريد فى الهواء حتى 680°C .

٥ — وفى النهاية تبريد بطئ فى الفرن .

أما الصلب فوق الأويتكتويد فلا يسخن حتى منطقة γ فى المعاملات الحرارية حتى لا تتكون عند التبريد شبكة السمنتيت القصفة الضارة وبالنسبة لهذه الأنواع من الصلب فإنه لتشكيلها فى الصناعة وكتركيب مبدئى للتقسية فان التسخين حتى فوق A_1 هو الأنسب وعند التقسية تعامل هذه الأنواع من الصلب مثل معاملة الصلب الأويتكتويدى والسمنتيت الزائد عن الحد فى هذه الحالة سيتوزع على شكل كريات صغيرة فى المارتنزيت بانتظام .

ومدى درجات الحرارة للمعاملات الحرارية للصلب التى سبق وصفها موضحة فى (شكل ٨٣) فى المقطع المبسط لشكل إتزان سبائك الحديد مع الكربون .

١٢ — الباينيت فى الصلب

لم تذكر هذه الصورة من التركيب الداخلى للصلب حتى الآن لأن منشأها لا يمكن التعرض له ضمن شكل إتزان سبائك الحديد والصلب .

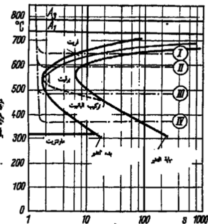
وينشأ الباينيت خالصا إذا برد الصلب من منطقة γ بسرعة إلى درجة معينة تحت A_1 (723°C) وترك عند هذه الدرجة حتى يتغير تركيب الأوستنيت — المبرد أكثر من اللازم تماماً . ولتصوير ترتيب هذا التغير عند درجة حرارة ثابتة (تحول أيزو ثرمى) (١) فإن منحنيات تغير التركيب مع درجات الحرارة والزمن قد رسمت لأنواع الصلب المستعملة ومن هذه المنحنيات يمكن معرفة أى تركيب داخلى ينشأ عند أية درجة حرارة عندما يتغير تركيب الصلب عند درجة حرارة ثابتة .

فأوستنيت الصلب(٢) C45 يتغير حسب (شكل ٨٤)عند حوالى 530°C إلى فريت وبرليت حيث

---

(١) من اليونانية ISOS = متساوى أو ثابت ، حرارة = Thermos

(٢) صلب مقسى ومطبع يحوى ٠,٤٥٪ كربون .



شكل (٨٤) منحنى تغير التركيب مع درجة الحرارة والزمن عند درجة حرارة ثابتة لصلب يحوى 0,45% كربون دون إضافة أية عناصر أخرى ، احداثى درجة الحرارة مقسم عادى ، احداثى الزمن مقسم لوغاريتمى (١).

يتكون البرليت فى خطوط رفيعة ويقل تكون الفريت باستمرار كلما زاد تبريد الأوستنيت عن اللازم وتقع مرحلة أو مجال تكون الباينيت بين مرحلة البرليت هذه ودرجة الحرارة التى ينشأ عندها المارتنزيت (حوالى 300°C).

و (شكل ٨٨) يبين التركيب الداخلى تحت المجهر لعينة من هذا الصلب بردت من منطقة الأوستنيت فى حمام ملح منصهر حتى 370°C وحفظت عند هذه الدرجة حتى تم التغير تماماً حسب الشكل (٨٤) لمدة ٩٠ ثانية وللتأكد لمدة ٢٠٠ ثانية. والتركيب الداخلى الناتج إبرى ، ويشبه ذلك التركيب الناتج لو أجريت للصلب المذكور عملية تقسية متبوعة بعملية تطبيع والفرق أن التركيب الداخلى فى هذه الحالة نشأ مباشرة من الأوستنيت ، وليس عن طريق غير مباشر وهو تحول الأوستنيت أولا إلى مارتنزيت.

وامكانية الانتشار لذرات الحديد أقل من امكانيات ذرات الكربون الأصغر حجماً.

ويمكن للكربون أن ينتشر ويكون كربيدات فى درجة حرارة الباينيت وانتشار ذرات الهيكل البللورى الأصلية يصبح عندئذ غير ممكن. والتحول عند تكوين الباينيت ينتج لتغير الهيكل البللورى المكعب ذى الذرة فى منتصفات الأوجه للأوستنيت إلى هيكل بللورى مشوه للفريت من المكعب ذى الذرة فى المركز حيث ينفصل فى نفس الوقت من كل الأوستنيت والفريت فوق المشبع الحديث التكوين.



400:1

شكل (٨٥) التحول حسب المنحنى I أجزاء متساوية من الفريت والبرليت العريض الخطوط.



400:1

شكل (٨٦) التحول حسب المنحنى II قليل من الفريت وكثير من البرليت الدقيق الخطوط.



400:1

شكل (٨٧) التحول حسب المنحنى III باينيت من المنطقة الأعلى دقيق الخطوط جداً.



400:1

شكل (٨٨) التحول حسب المنحنى IV باينيت من المنطقة السفلى.

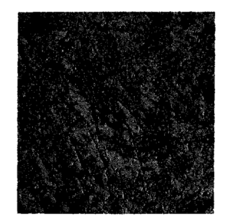
(١) رسم بالاعتماد على تفسير وشرح أ. روزا ، ف. بيتر.

الأشكال من (٨٥ حتى ٨٨) تركيب داخلى مجهرى لعينات من صلب C45 تغيرت حسب المنحنيات من I إلى IV عند درجة حرارة ثابتة حسب الشكل (٤٨) جزيئات دقيقة من الكربيد ترص نفسها فى صفوف حسب التركيب للأوستنيت وهذا ما يسبب الشكل الإبرى للباينيت (١) ونتيجة لخروج الكربون من التركيب الداخلى للأوستنيت تسهل عملية تغير الهيكل البللورى (٢) بحيث تستمر عملية التغير هذه كلما زاد انفصال الكربيد ، وبذلك تصبح عملية تكوين الباينيت عملية مرتبطة بالانتشار عكس تكوين المارتنزيت الذى يتكون فجأة ودون انتشار .

والفرق بين المارتنزيت والباينيت يوضحه الشكلان (٨٩) ، (٩٠) المصورتين تحت المجهر الإلكترونى بتكبير شديد جداً .

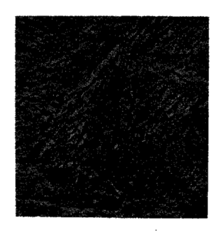
وحسب ما إذا كان التغير فى مجال الباينيت فى (الشكل ٨٤) حدث عند درجات حرارة أعلى أو أقل يميز بين باينيت من المنطقة الأعلى وينفصل فيه حبيبات كربيد أكبر أو باينيت من المنطقة السفلى وفيه ترسيبات الكربيد دقيقة جداً .

وأنواع الصلب الغير مضاف إليها عناصر أخرى لها زمن بدء قصير عند التحول فى درجات الحرارة الثابتة وخطوات التحول تبدأ وتستمر بسرعة حتى إن القطع السميكة تتحول جزئياً أو كلياً إلى البرليت قبل أن تصل درجة حرارتها إلى درجة الحرارة اللازمة لتكون الباينيت وتكوين خالص للباينيت يمكن أن ينشأ بالنسبة لهذه الأنواع من الصلب فى القطع ذات السمك الصغير .



9000:1

شكل (٨٩) صلب C45 من درجة حرارة التقسية مسقى فى الماء مارتنزيت .



9000:1

شكل (٩٠) صلب C45 متحول من درجة التقسية عند درجة حرارة ثابتة 400°C باينيت .

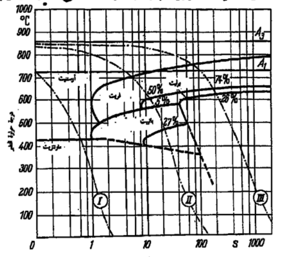
---

1. Schrader, A. und Rose, A. De Ferri Metallographia II, Düeseldorf : Verlag Stahleisen 1966.
2. Eckstein, H. J. : Wärmebhandlung von Stahl, Leipzig : VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1969.

وأنواع الصلب التى تحتوى بجانب الكربون على عناصر أخرى يتكون الباينيت بكمية أكبر وزمن البدء أطول والتحول يبدأ متأخراً ويستمر ببطء ، ولذلك فن الأسهل أن يبرد الأوستنيت إلى درجة حرارة التحول إلى الباينيت وبذلك يصبح استعمال التقسية والتطبيع عن طريق الباينيت ممكنا عملياً ، وتمتاز عن التقسية والتطبيع بقلة الخطورة التى قد تنجم عن التفاف الصّلب وتشققه حيث أن القطع لا تبرد بسرعة كبيرة وأيضاً عندما يبرد الصلب باستمرار وخاصة فى الصلب المضاف إليه عناصر سبك فإنه تتواجد لبعض الوقت شروط لتكون الباينيت وأيضاً لهذه الأحوال رسمت منحنيات تغير التركيب مع درجة الحرارة والزمن عند التبريد المستمر تختلف عن تلك بالتبريد فى درجة حرارة ثابتة بعض الشئ .

ومنحنيات تغير التركيب مع درجة الحرارة والزمن عند التبريد المستمر مهمة للمشتغل باللحام ، حيث أن الصلب المسخن لدرجة عالية بجانب تدريز اللحام يبرد تبريداً مستمرا .

ومنحنيات التبريد (III,II,I) فى منحنى تغير التركيب مع درجة الحرارة والزمن عند التبريد المستمر (١) لصلب غلايات محتوى على منجنيز بسيط (19Mn5)(شكل ٩١)تبين أنه بالتبريد السريع حسب المنحنى I ينشأ مارتنزيت بجانب تدريز اللحام وهذا ممكن أن ينشأ دون قصد عند لحام أجزاء صغيرة من قطع كبيرة فى الإصلاحات مثلا .



شكل (٩١) منحنى التغير مع درجة الحرارة والزمن عند التبريد المستمر لصلب الغلايات 19Mn5 والأرقام عند تقاطع منحنيات التبريد مع الخطوط المحددة لمناطق الشكل تبين النسبة المئوية للأوستنيت المحتوى عند عبور المنطقة .

وبالتبريد الأبطأ من ذلك حسب المنحنى رقم II يتحول الأوستنيت بالتوالى إلى 50% فريت ، 5% برليت ، 27% باينيت وينشأ من الـ 18% الأوستنيت الباقية باستمرار التبريد مارتنزيت وإذا أراد الإنسان تحاشى الباينيت والمارتنزيت فعليه أن يراعى أن يكون منحنى التبريد يقع إلى اليمين أكثر فى الشكل ويمكن الوصول إلى ذلك بتسخين الصلب والاحتفاظ به ساخنا أثناء اللحام (اللحام مع تسخين أولى) وبهذا يقل الفرق فى درجة الحرارة بين المنطقة التى ارتفعت درجة حرارتها بجانب تدريز اللحام وبين بقية القطعة وإذا بردت المنطقة المعرضة للخطر بسرعة أبطأ كما فى المنحنى رقم III ، حيث ينشأ فريت 74% ، برليت 26% وفى نشرة هيئة التوحيد القياسى الألمانية

1) Müller R., : Anwendung von ZTU-Schaubildern in der Schweiβpraxis. Schweiβen und Schneiden 12 (1960) H. 7, 5. 309-317.

DIN 17155 يشترط التسخين لدرجة 200°C قبل لحام الصلب 19Mn5 والاحتفاظ بالقطعة التى سيجرى عليها اللحام طول مدة اللحام عند هذه الدرجة .

وترسم منحنيات التغير مع درجة الحرارة والزمن أساساً لدرجات حرارة وزمن الأوستنيت التى لها أهمية للمعاملات الحرارية العادية للصلب.وبجوار تدريز اللحام مباشرة فإن الصلب يسخن إلى قرب درجة حرار الانصهار ويكون لمدة قصيرة فى منطقة الأوستنيت ، ولذلك فإن خطوط المنحنى تتجه ناحية اليمين إلى زمن أطول بمعنى أنه من الممكن أن ينشأ مارتنزيت حيث أنه حسب منحنى الإتزان العادى غير ممكن . وفوق ذلك فيسرى المنحنى لنوع الصلب الذى رسم من أجله فقط والتراوحات فى التركيب الكيماوى المسموح بها فى أنواع الصلبتغير مجرى منحنى التغير.ولذلك فمن المستحسن فى عمليات اللحام اختيار درجة حرارة مرتفعة شيئاً ما والاحتفاظ بالقطعة مدة أطول مما هو موجود فى المنحنى (١) .

١٣ – شكل اتزان الحديد مع كربيد الحديد

من الشرحالسابق لسبائك الحديد مع الكربون حتى نسبة 2.06% كربون،ذكر جزء من الشكل الجزئى لاتزان الحديد مع الكربون. و (الشكل ٩٢) يبين سبائك الحديد مع الكربون حتى 6.67% كربون ونسبة الكربون هذه تعادل تركيب المركب البينى ،كربيد الحديد .

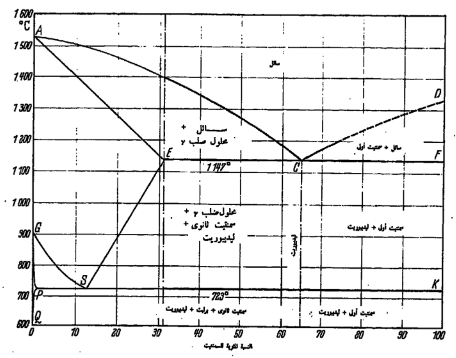
كما هو معروف تقسم مثل هذه المركبات البينية أشكال الإتزان إلى أجزاء . والشكل الجزئى لسبائك الحديد مع الكربون حتى 6.67% كربون أى ما يعادل 100% كربيد الحديد،هو شكل اتزان كامل لسبائك الحديد مع كربيد الحديد ، (السمنتيت) .

والسبائك فى الجانب الآخر من المركب البينى بأكثر من 6.67% كربون لم تبحث بسبب صعوبة شروط التجارب بزيادة نسبة الكربون . وهذه السبائك ليست مهمة بالنسبة للمواضيع المذكورة فى هذا الكتاب لأنه بزيادة نسبة الكربون تختفى بالتدريج الصفة الفلزية للسبائك .

وجانب الصلب فى شكل الإتزان (حتى 2.06 كربون ما يعادل 31% كربيد حديد) معروف لدينا ولذا سيشار إليه فقط فى (شكل ٩٢) ولذلك سيشرح جانب الحديد الزهر من الشكل الموجود بين 2.06% ، 6.67% وسيوجد شكل أويتكتيكى أمامنا ثانية والأويتكتك المكون من بللورات المحلول الصلب γ وكربيد الحديد يسمى ليديبوديت (على اسم العلامة . أ ليديبور) وعلى يسار نقطة الأويتكتك تتكون بللورات محلول صلب γ أولية ، بينما ينفصل على يمينها كربيد حديد أولى (سمنتيت) يظهر فى التركيب الداخلى كعروق سميكة ويسمى لذلك عروق السمنتيت وجميع التراكيب تحت الأويتكتيكية ، والأويتكتيكية وفوق الأويتكتيكية تتغير تحت خط الأويتكتك ECF وعدم قدرة بللورات المحلول الصلب γ على إذابة الكربون بانخفاض درجة الحرارة (من 2,06% عند 1147° إلى 0.8% عند 723°) له تأثيره أيضاً فبانخفاض درجة الحرارة تطرد بللورات المحلول الصلب γ سواء المنفصلة أولياً أو مع الأويتكتك – تطرد كربونا على شكل كربيد الحديد الذى يتجمع على

---

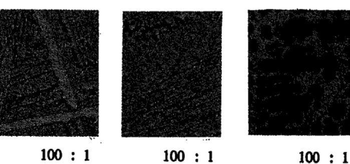
1) Müller R. : Anwendung von ZTU-Tchaubildern in der Schweiβpraxis. Schweiβen und Sehneiden 12 (1960) H. 7, S.309-317.



شكل (٩٢) شكل اتزان سبيكة الحديد مع كربيد الحديد (السمنتيت Fe_3C) 100% كربيد حديد تساوى نسبة 6.67% كربون فى السبيكة

السمنتيت الموجود من قبل(١) وتحت الخط SK فإن بللورات المحلول الصلب γ غير ثابتة وتتحلل إلى برليت وعند درجة حرارة الجو العادية ترى التراكيب الداخلية الموجودة فى الأشكال (٩٣ حتى ٩٥).

وسبائك الحديد مع كربيد الحديد هذه تختلف خواصها إختلافاً بينا عن خواص الصلب. فسبب نسبة السمنتيت العالية فيها فهى قصفة وبسبب الليديبوريت الذى ينصهر عند 1137°C فهى غير قابلة للسحب والطرق. وميزة هذه السبيكة هى قابليتها الجيدة للصب لانخفاض درجة حرارة انصهارها بالنسبة للصب وقدرتها على ملء القوالب.



100 : 1 — شكل (٩٣) تحت الأويتكتيكى برليت سمنتيت ثانوى.

100 : 1 — شكل (٩٤) أويتكتيكى ليديبوريت .

100 : 1 — شكل (٩٥) فوق الأويتكتيكى سمنتيت أولى مع ليديبوريت.

الأشكال ٩٣ — ٩٥ تركيب داخلى تحت المجهر لسبائك الحديد مع كربيد الحديد بين 2.06% كربون ، 6.67% كربون .

(١) لا يذكر السمنتيت المنفصل من بللورات المحلول الصلب γ الموجودة فى ليديبوريت الأويتكتك وتراعى حقيقة أن بللورات المحلول الصلب γ الموجودة فى الأويتكتك تتغير بالتبريد وهى فى الحالة الصلبة بأن يقال ليديبوريت I (عند 1143°C) وليديبوريت II أو ليديبوريت متحلل (تحت 723°C) .

وبسبب مكسر القطع الزهر من سبائك الحديد مع كربيد الحديد العالية نسبة الكربون الذى يظهر قاتماً بالنسبة لوجود السمنتيت الأبيض بكثرة، يسمى الزهر الأبيض. وبسبب الصلادة غير العادية للسمنتيت فإن حديد الزهر الأبيض صلد جداً وقصف وصعب التشغيل والزهر المتجمد كزهر أبيض بالكامل يستخدم لهذا السبب كخطوة أولى لإنتاج الحديد المطاوع Chilled Cast Iron, Malleable Cast Iron.

١٤ — شكل اتزان الحديد مع الجرافيت

كربيد الحديد غير ثابت ويتحلل عند درجات الحرارة العالية إذا وجد الوقت لذلك ، إذا ترك يبرد ببطء ، إلى عناصره وهى الكربون والحديد أو لا يتكون الكربيد على الإطلاق فينفصل الكربون فى صورة جرافيت متبلور مباشرة دون المرور بمرحلة الكربيد .

وعليه فإن التبريد البطىء يساعد على انفصال الجرافيت والتبريد السريع على تكوين كربيد الحديد . والجرافيت يكون رقائق غير منتظمة تظهر بعد تحضير العينة المصقولة كرقائق مختلفة المقطع فى التركيب الداخلى . والجرافيت الداكن يظهر المقطع داكنا . والحديد الزهر الذى غالباً ما يظهر الكربون فيه على شكل جرافيت يسمى الحديد الزهر الرمادى (الزهر الرمادى) .

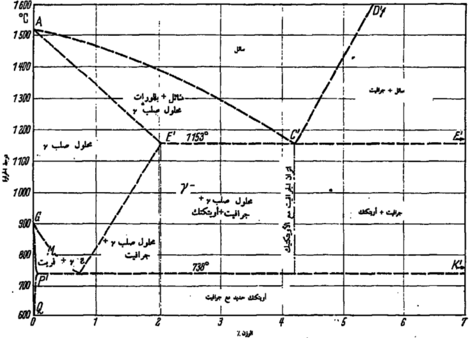
وتجمد الحديد الزهر على نظام كربيد الحديد أو الجرافيت يمكن التأثير عليه عن طريق عناصر سبائك أخرى . فالسيليكون يؤدى إلى « تجمد رمادى » والمنجنيز إلى « تجمد أبيض » .

وفى سبائك الحديد مع الكربون التى تتجمد حسب نظام الجرافيت تتغير أوضاع خطوط شكل الاتزان (شكل ٩٦) ونقط الشكل التى تتواجد عند التجمد الرمادى ستوضح بشرطة فوق الحرف عند نقطة طالما اختلفت عن النقطة الموجودة فى شكل اتزان الحديد مع كربيد الحديد .

وسبائك الحديد مع الكربون التى تحوى نسبة كربون قليلة تتجمد عادة حتى بالتبريد البطىء على نظام كربيد الحديد (الصلب) . ومسار الخطوط فى نظام التجمد الرمادى فى منطقة نسب الكربون القليلة لم يتضح تماماً ، كذلك فإن السبائك التى تزيد نسبة الكربون فيها عن 6% لم تبحث بعد لكبر صعوبات التجارب والاهتمام المحدود بها فى الحياة العملية .

وأويتكتك الحديد مع الجرافيت يتجمد عند 1153°C وتركيز 4.25% كربون (نقطة C') ونقطة E فى هذه الحالة E تحركت حتى تركيز 2.03% كربون. والسبائك تحت الأويتكتيكية بين 2.03% كربون ، 4.25% كربون التى تتجمد حسب نظام الجرافيت ينفصل منها أولا بللورات محلول صلب من السبيكة السائلة. وعند درجة حرارة الأويتكتك 1153°C تتجمد بقية السبيكة السائلة إلى أويتكتك من بللورات المحلول الصلب γ وجرافيت ومن بللورات المحلول الصلب γ الأولية وبللورات المحلول الصلب γ من الأويتكتك، ينفصل تحت درجة حرارة الأويتكتك جرافيت (جرافيت

ثانوى) لعدم قدرة المحلول الصلب γ على إذابة الكربون ويتبلور هذا الجرافيت الثانوى على رقائق جرافيت الأويتكتك وتحت الخط P'S'K' 738°C تتحلل بللورات المحلول الصلب γ التى قل الكربون فيها حتى وصل 0.69% إلى فريت وجرافيت وبللورات المحلول الصلب γ المتحللة هذه وجب أن تكون أويتكتويد يشابه أويتكتويد الحديد مع كربيد الحديد (البرليت) ولكن مثل هذه البللورات لا تتكون لأن الجرافيت الناشئ عن التحلل لبللورات المحلول الصلب γ يتبلور على رقائق الجرافيت الموجودة من قبل (جرافيت الأويتكتك والجرافيت الثانوى) .



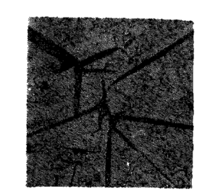
شكل (٩٦) شكل إتزان الحديد مع الجرافيت .

ولكى تواجه هذه الحقيقة ، وحتى لا يصبح شكل اتزان الحديد مع الجرافيت بعيداً عن الواقع ، لم ترسم أجزاء منفصلة للحالات الموجودة تحت الخط P'S'K' 738°C فى (شكل ٩٦) .

والسبائك الأويتكتيكية تتجمد (عند 4.25% كربون) — دون انفصال بللورات أولية — مباشرة إلى محلول صلب γ وجرافيت ، ومن بللورات المحلول الصلب ينفصل أثناء التبريد جرافيت ثانوى ويتحلل تحت 738°C .

والسبائك فوق الأويتكتيكية تبدأ التجمد بانفصال الجرافيت الذى يجد الوقت والفرصة لينمو إلى رقائق كبيرة تختلف فى تكوينها الأسفنجى الكبير(١) عن الجرافيت الدقيق المنفصل من بقية السبيكة السائلة مع الأويتكتك ، (شكل ٩٧) وبللورات المحلول الصلب فى الأويتكتك يحدث لها نفس انفصال الكربون والتحلل كما وصف من قبل .

(١) الجرافيت الأولى المنفصل وزنه النوعى أقل بكثير من السبيكة السائلة ولذا يطفو على السطح حيث يتجمع على شكل اسفنجى.



100 : 1
شكل (٩٧) الجرافيت الأسفنجى والأويتكتيكى (غير منمشة).

100 : 1
شكل (٩٨) حديد زهر رمادى فى وسط برليتى .

وخطوات التجمد حسب نظام الجرافيت بطيئة ، وعملياً تبدأ مثل هذه السبائك رمادية فى التجمد ثم تتبع بعد ذلك نظام الحديد مع كربيد الحديد . والتركيب الداخلى لحديد الزهر الرمادى يظهر غالباً كما فى الشكل (٩٨) حيث تظهر رقائق الجرافيت التى انفصلت أولا حسب نظام الجرافيت فى وسط برليتى أو فريتى برليتى مشابه لتركيب الصلب وتخترق رقائق الجرافيت الوسط المشابه لتركيب الصلب مسببة إضعافاً شديداً لقوته .

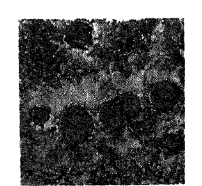
ويمكن عن طريق حقن السبيكة المنصهرة بالماغنسيوم أن يتبلور الجرافيت فى كريات صغيرة بدلا من الرقائق ، والكريات لا تفصل التركيب الداخلى عن بعض مثل الرقائق فى الصلب الرمادى وقد وجد أن فى الحديد الزهر ذى كريات الجرافيت (١) مادة تكاد صفاتها تقارب صفات الصلب ولكنها سهلة الصب .

والحديد الزهر ذو رقائق الجرافيت له أهميته رغما عن ذلك ، ومن الطبيعى أنه من الأوفر استعمال الحديد الزهر الرخيص حيثما لن تستغل صفات القوة الجيدة لحديد الزهر ذى الجرافيت الكروى . وفوق ذلك فالحديد الزهر ذى رقائق الجرافيت أفضلية بالنسبة لسعة المضاءلة وخواص القطع .

وإذا كان المطلوب أن يكون الوسط الغالب فى حديد الزهر ذى الجرافيت الكروى طرياً فيمكن تخميره لوقت طويل بالقرب من نقطة A_1 ، وبذلك تتحلل رقائق الكربيد الموجودة فى البرليت . والكربون الحر الناتج سيترسب على كريات الجرافيت ويصبح الوسط الغالب فريتى وبذلك يكون أطرى وأكثر مرونة .

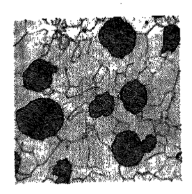
---

(١) يسمى حديد زهر ذو جرافيت كروى وكلمة Sphaeroguss هى اسم الماركة A.G. المسجلة التى تنتج شركة جرافيت Metallgesellschaft تحتها حديد زهر ذا جرافيت كروى بتصريح خاص من شركة The Mond Nickel Company Ltd .



100 : 1

شكل (٩٩) حديد زهر ذو جرافيت كروى فى وسط برليتى



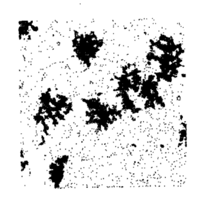
100 : 1

شكل (١٠٠) حديد زهر مخمر ذو جرافيت كروى .

وشكل (١٠٠ أ) يبين التركيب الداخلى تحت المجهر لحديد زهر ذى جرافيت كروى فيه فريت نقى نتيجة للتخمير الطويل ، وهذه العينة أخذت من قطعة أجريت عليها تجربة اللى المبينة فى (شكل ١٠١) والعينة من قطعة مسطحة لويت من الطرفين فى الاتجاهين مرات عديدة دون أن تنكسر . ويمكن الوصول إلى عملية تكوير مشابهة للكربون عن طريق

1 : 2

شكل (١٠١) عينة لى من حديد زهر مخمر ذى جرافيت كروى .



100 : 1

شكل (١٠٢) حديد زهر طروق أسود . فحم مطبع فى وسط فريتى .

التطبيع ، حيث تصب قطع الزهر عمداً صباً أبيض (بحيث يتكون الكربيد) وتخمر (تطبع) بعد ذلك حسب سمك القطعة حتى ٦٠ ساعة . والحديد الزهر الطروق الأسود ينشأ بتخمير كتل الزهر الخام فى جو غاز خامل ليحميها من الهواء العادى عند درجة حرارة 900°C ، ويتحلل كربيد الحديد عندئذ تماماً ، والكربون الحر الناتج يكور نفسه إلى كريات فحم مطبع (ليس تخمير إزالة كربون) . وكما يظهر فى (شكل ١٠٢) ينتج عن ذلك تركيب داخلى يشابه تركيب الحديد الزهر ذى الجرافيت الكروى. والمكسر الداكن الناتج عن وجود الفحم المطبع أعطى الزهر اسم الحديد الزهر الطروق الأسود. والحديد الزهر الطروق الأبيض ينتج بتخمير كتل الحديد الزهر الخام عند حوالى 1000°C فى جو مزيل للكربون (غاز مؤكسد) . ولذلك فإن الفحم الحر الناتج عن تحلل الكربيد فى منطقة السطح سيزال من هذه المنطقة (تخمير إزالة كربون) بينما ينشأ داخل القطعة تركيب داخلى مختلط عبارة عن فحم

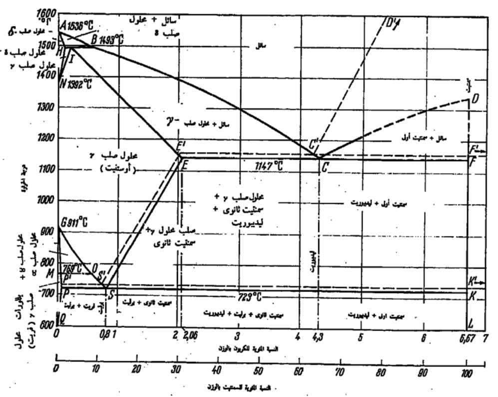
مطبع وفريت وبرليت . والقطع القليلة السمك سيزال منها الكربون بدرجة أن تصبح فى النهاية ذات تركيب فريتى خالص .

١٥ – شكل اتزان الحديد مع الكربون

إذا جمعت الأجزاء المنفصلة السابق شرحها من أجزاء شكل اتزان سبائك الحديد مع الكربون يظهر شكل اتزان سبائك الحديد مع الكربون كاملا (شكل ١٠٣) ولتقييمه تستعمل المعلومات التى شرحت حتى الآن .

ولما كان التركيب الداخلى المكون من الحديد والجرافيت هو أثبت صور سبائك الحديد مع الكربون لذلك سمى نظام الجرافيت النظام الثابت(خطوط متقطعة ......). والسبائك بين الحديد وكربيد الحديد الأقل ثباتاً سميت النظام الغير ثابت ، وتصور بخطوط متصلة واضحة لأنها خصوصاً بالنسبة لجزء الصلب أكثر أهمية فى الصناعة ولنفس السبب فإنه فى هذا الجزء من الشكل فى أقسامه المختلفة تذكر صور التراكيب الداخلية فى النظام الغير ثابت فقط .

ومن الشكل الكامل يمكن فهم صور السمنتيت المختلفة . والبناء الداخلى للسمنتيت هو نفسه فى كل الحالات وتوجد الإختلافات فقط فى الحجم والشكل الخارجى .



شكل (١٠٣) شكل إتزان سبائك الحديد مع الكربون (حسب المرحوم ف كوربر ، ف . أولسن ، ه . شوئكى ، ه . ج فيستر عمل من جديد بواسطة د . هورستمان) .

وينفصل السمنتيت الأولى مباشرة من السبيكة السائلة على يمين النقطة C . والسمنتيت الثانوى ينفصل فى الحالة الصلبة تحت درجة حرارة 1147°C حتى درجة حرارة 723°C على يمين الخط ES من بللورات المحلول الصلب γ . وأما السمنتيت من الدرجة الثالثة فينفصل تحت درجة حرارة 723°C من بللورات المحلول الصلب α .

والخط MO عند 769°C الذى لم يذكر حتى الآن هو الحد بين الحالتين المغناطيسية وغير المغناطيسية ويسقط هذا الحد من نقطة O ويسير بطول OSK .

١٦ — تحول بللورات المحلول الصلب δ

ذكر فيما سبق أن الحديد النقى فى الفصيلة γ ثابت حتى درجة حرارة 1392°C ثم يتحول بعد ذلك إلى بللورات الفصيلة δ المكعبة ذات الذرة فى المركز ، وتختلف هذه المكعبات عن مكعبات الفصيلة α فقط فى أن طول ضلع مكعبها أكبر ، واتساع ضلع المكعب فى هذه الحالة يعزى إلى حاجة الذرات إلى مكان أكبر لزيادة سعة ذبذبة الذرات فى درجات الحرارة العالية .

ويكون الحديد فى الفصيلة δ محلول صلب مع الكربون وحيث أنه مقيد بهيكل بنائه فقدرته على إذابة الكربون صغيرة وفى أحسن الأحوال يمكن لذرات الكربون أن تتداخل فى مكعبات الحديد فى الفصيلة δ عند درجة حرارة 1493°C بنسبة 0.1% .

ويمكن دراسة التحول لبللورات المحلول الصلب δ مختلفة التركيز عن طريق منحنيات تبريدها (شكل ١٠٤) .

مثال رقم (١) سبيكة تحوى 0.05% كربون فوق الخط AB كلها سائلة وعندما تتخطى خط السيولة ، تبدأ بللورات المحلول الصلب δ فى الانفصال وبعد تمام التجمد يكون التركيب الداخل كله تحت خط التجمد AH بللورات محلول صلب δ فقط . والتحول من $\delta \rightleftharpoons \gamma$ سيزاح إلى درجة حرارة أعلى نتيجة وجود الكربون (الخط NH) . وعندما تقطع هذه السبيكة الخط NH عند النقطة P_1 تنشأ من بللورات المحلول الصلب δ أولى بللورات المحلول الصلب γ وعند النقطة P_2 يتم تحول كل بللورات المحلول الصلب δ إلى بللورات محلول صلب γ (أوستنيت) وتصبح فى منطقة الأوستنيت المعروفة .

شكل (١٠٤) تحول بللورات المحلول الصلب .

مثال رقم (٢) سبيكة تحتوى على 0.16% كربون : تتكون أولا تحت الخط AB بللورات محلول صلب δ من السبيكة السائلة والخط الأفقى HB هو خط برتكتيكى ، وعندما تصل السبيكة السائلة إلى هذا الخط تتفاعل بللورات المحلول الصلب δ التى تكونت حتى ذلك مع السبيكة السائلة الباقية مكونة بللورات صلب γ . وعند تركيز 0.16% كربون تصبح النسبة بين المحلول الصلب γ المنفصل من السبيكة السائلة والسبيكة

السائلة مضبوطة لدرجة أنه عند التفاعل البرتكتيكى يستهلك كل منهما وبعد التفاعل البرتكتيكى تتكون السبيكة من بللورات المحلول الصلب δ فقط .

مثال رقم (٣) السبائك التى بين النقطتين H ، I (من 0.1% إلى 0.16% كربون) تحوى هذه السبائك كمية من بللورات المحلول الصلب δ أكثر مما يلزم للتفاعل البرتكتيكى ، ولذلك يظهر تحت خط البرتكتيك فى المنطقة NHI محلول صلب δ إلى جانب بللورات المحلول الصلب γ البرتكتيكية . وتتحول بللورات المحلول الصلب δ هذه بانخفاض درجة الحرارة إلى بللورات محلول صلب γ حتى إنها بعد تخطى الخط NI تختفى ويكون التركيب الداخلى هو أوستنيت خالص .

مثال رقم (٤) سبائك بين نقطة I ، B (0.16 إلى 0.51% كربون) هذه السبائك تحوى سبيكة سائلة باقية أكثر من اللازم لحدوث التفاعل البرتكتيكى ولذلك فإنه بعد التفاعل البرتكتيكى يتواجد تحت خط البرتكتك محلول صلب γ وسبيكة سائلة إلى جانب بعضهما وينفصل من السبيكة السائلة ، مع استمرار التبريد ، بللورات محلول صلب γ حتى إنه عند الوصول إلى خط التجمد EI تتجمد كل السبيكة إلى محلول صلب γ (أوستنيت) .

ثالثا : طرق الفحص المجهرى للفلزات "الميتالوجرافى"

الصفحات التالية تتناول بعض الطرق البسيطة الشائعة الاستعمال فقط . وتجدر الإشارة إلى أن تحضير العينات للفحص المجهرى خاصة لإثبات وجود تكوين معين فى التركيب الداخلى يمكن أن يكون على جانب كبير من الصعوبة ويحتاج لكثير من الخبرة والبصيرة .

وكل التعبيرات التى تبدأ بكلمة Macro فى علم الفحص المجهرى للفلزات (الميتالوجرافى) تعبر عن طرق اختبار يمكن تقييمها واعطاء نتائجها بالفحص بالعين المجردة أو بتكبير بسيط والحد الأعلى لـ « الماكروسكوبى » هو التكبير ١ : ١٠ وعند استعمال تكبير أكبر من ذلك يسمى ذلك فحص « ميكروسكوبى » أى مجهرى .

١ ــ تحضير العينات

يبــدأ تحضير العينة للفحص المجهرى بأخذها من الجزء المــراد فحصه والقطع اللينة يمكن أن تنشر . والقطع المقصوصة غير مناسبة بسبب التشكيل على البارد الذى يحدث لها أثناء القص . ومــن المواد القصفة يمكــن فى بعض الأحيان أخــذ قطعــة مناسبة بالكسر (بطرقــة واحدة) ، والمواد الصلدة يجب فصلها أو قطعها إلى الحجم المناسب بواسطة جهاز فصل أو قطع (شكل ١٠٥) (١) وهنا يجب العناية بوجود التبريد الكافى حتى لا يتغير التركيب الداخلى للعينة بتأثير الحرارة الناتجة . وإذا أخذت قطعة بقطعها باللهب القاطع يجب أن تكون كبيرة بحيث لا يتأثر بالتأكيد الموضع الذى ستؤخذ منه العينة المجهرية بحرارة اللهب القاطع ويجب أن تنشر العينة المجهرية من هذه القطعة .

وعند أخذ عينات للفحص بالعين المجردة أو بالتكبير البسيط لا يحتاج الإنسان للاحتياطات التى تجرى عند تحضير العينات للفحص المجهرى ، ولكن يجب الحذر خصوصاً إذا أخذت العينة عن طريق اللهب القاطع . والعينات الممكن تناولها باليد والتى لا يهم فحص حروفها الخارجية يمكن تجليخها دون مساكات . ولمنع ورق السنفرة وقماش التلميع من التمزق تسوى أحرف وزوايا العينة . والعينات التى تفحص حروفها الخارجية أو الصغيرة جداً ينبغى استعمال مساكات عند تجليخها وتلميعها (شكل ١٠٦) أو ينبغى توسيدها (دفنها) فى راتنج صناعى .



شكل (١٠٥) جهاز فصل عينات لفحص التركيب الداخلى (بريزى ف . دوياردن) .

---

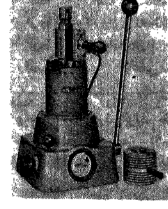
(١) لزيادة الايضاح يوجد فى الكتاب بعض الصور كأمثلة لأجهزة ومعدات الفحص المجهرى للعينات وهذا لا يعنى أى تقييم لها بالمقارنة بسواها من الأجهزة المعروضة فى الأسواق من إنتاج الشركات المختلفة .

ويجب أن تناسب المساكات ومادة العينة بعضها كي يتحاشى التحميل المختلف أثناء التجليخ وتكوين العناصر أثناء التنميش .

ولتسهيل مسك العينات الصغيرة جداً أو التي لا يساعد شكلها على مسكها بمساكات،أثبت الراتنج الصناعي جدارته حيث توسد فيه العينات في مكبس (شكل (١٠٧) تحت الضغط والحرارة ، وهذه الطريقة تناسب العينات التي لن يتأثر تركيبها الداخلي بالتسخين حتى 100°C .

وتوجد الآن مواد توسيد بالصب على البارد لا تحتاج لاستعمال المكبس . ومواد التوسيد هذه يجب خلطها بعامل تصليد قبل صبها وقطع المواسير تصلح كقوالب للصب . ويمكن أن يسحب الشكل المصبوب بسهولة من القالب ، إذا مادهنت الجوانب الداخلية للقالب بعجينة السيليكا (Silicopaste)

ولإظهار الحدود بمنتهى الوضوح والدقة يمكن توسيدها جلفانياً (بالترسيب الكهربى) وعلى سبيل المثال سيوصف التوسيد بالترسيب الكهربى فى النحاس (شكل ١٠٩) .



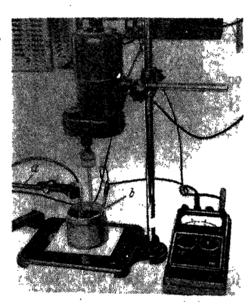
شكل (١٠٧) مكبس هيدروليكى لتوسيد العينات الصغيرة فى الراتنج الصناعى .



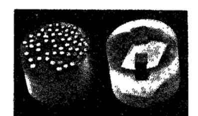
شكل (١٠٦) عينات ممسوكة وعينة مسواة الزوايا .

إزالة الدهون بعناية من العينة باستعمال الأثير . أولا فى الحمام A (جدول رقم ١) ثم تكسى العينة بطبقة رقيقة من النحاس السيانيدى حتى تحمى العينة من تأثير حمام ترسيب النحاس B شديد الحموضة . (جدول رقم ٢) .

ويجب الإلتزام بقيمة شدة التيار المحسوبة (تيار مستمر) ، إذ يسبب التجاوز عنها عدم التصاق طبقة النحاس تماماً وتكون البراعم ،



شكل (١٠٩) ترتيب جهاز توسيد العينات بالترسيب الكهربى .



شكل (١٠٨) عينات صغيرة موسدة فى مادة توسيد شفافة من الراتنج الصناعى .

جدول رقم (١) الحمام A (لطبقة الحماية السيانيدية) (١)

سيانيد النحاس	22.5 g
سيانيد الصوديوم	34.0 g
كربونات الصوديوم	15.0 g
ماء	1000 ml
كثافة	0.002 A cm^2
درجة الحرارة	30-40°C
المهبط	العينة
المصعد	نحاس

جدول رقم (٢) حمام A للتكسية بالنحاس

كبريتات النحاس	250 g
حامض كبريتيك مركز	40 ml
ماء	1000 ml
كثافة	0.02-0.04 A cm^2
درجة الحرارة	الجو العادية
المهبط	العينة
المصعد	نحاس

ويحرك الحمام طول الوقت بقضيب زجاجي أو أداة تقليب . وحمامات السيانيد المحضرة حديثاً تكون غير نشطة فى بعض الأحيان ويمكن تنشيطها بإضافة كية قليلة من محتويات الحمام القديم وبهذه الطريقة يمكن تكسية جميع المعادن عدا الألومنيوم والماغنسيوم بالنحاس .

٢ — التجليخ والتلميع والنمش

العينات التى قطعت ووسدت — إذا لزم الأمر — سيسوى سطحها وتبرد أو تجلخ مبدئياً على حجر الجلخ (يجب الاحتراس من تأثير الحرارة) وفى النهاية توضع على ماكينة تجليخ بورق سنفرة يبدأ من رقم ١٠٠ — ١٨٠ ويتدرج إلى الدرجات الأنعم .

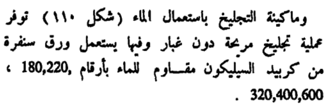
وعند تحضير العينات المجهرية تدار 90° كلما غير ورق السنفرة إلى درجة أنعم ولا تحرك العينة فوق قرص ماكينة التجليخ ، بل تثبت فى موضع واحد بضغط خفيف وهكذا تنشأ خطوط رفيعة متوازية يمكن ملاحظة اختفائها عند التجليخ عمودياً عليها باستعمال درجة النعومة التالية لورق السنفرة وتنظف العينة بفرشاة ناعمة كلما غير ورق السنفرة إلى درجة أنعم .

وابتداء من ورق السنفرة رقم ٢٢٠ يمكن استعمال اليد فى التجليخ مع الاحتفاظ بتغيير اتجاه التجليخ ، 90° كلما غيرت درجة ورق السنفرة ، وفى هذه الحالة يثبت ورق السنفرة على مسند خاص له أو على لوح من الزجاج ويتبع ذلك — مع تغيير اتجاه السنفرة وتنظيف العينة بالفرشاة تماماً رقم 320 ، 400 ، 500 ، 600 على التوالى .

(1) Kehl : The Principles of Metallographic Practice, New York : McGraw-Hill 1949.



شكل (١١٠) ماكينة تجليخ بالماء (ك . ب جروبس وشركاهم) .



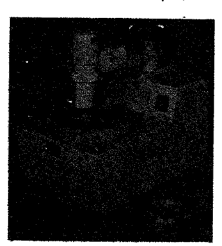
وماكينة التجليخ باستعمال الماء (شكل ١١٠) توفر عملية تجليخ مريحة دون غبار وفيها يستعمل ورق سنفرة من كربيد السيليكون مقـــاوم للماء بأرقام 180,220 ، 320,400,600 .

ويحمل الماء الجارى الغبار الناتج من التجليخ بعيداً عن ورق السنفرة باستمرار ، ويمكن عندئذ أن يغير ورق السنفرة دون تنظيف العينة .

وبالنسبة للعينات التى ترى بالعين المجردة أو بالتكبير البسيط لا يحتاج الإنسان إلى إدارة العينة 90° عند تغيير ورق السنفرة ، ويكفى أن يميل شيئاً ما على اتجاه التجليخ الأخير ، أو عند استعمال ماكينات التجليخ ذات الأقراص المستديرة أن يدير العينة 180° .

والتلميع والنمش خطوتان من خطوات العمل تؤديان معاً . وأثناء التجليخ تنشأ على السطح طبقة تشغيل تزول بدورها بتبادل التلميع والنمش حتى يظهر التركيب الداخـــلى الحقيقى .

ويجب غسل العينة التى سنفرت بورق السنفرة رقم 600 جيداً بالماء قبل التلميع ، وفوق ذلك فمن المهم جداً تنظيف الأيدى والأظافر كى لا تحمل غبار التجليخ إلى قماش التلميع .



شكل (١١١) ماكينة تلميع تركب على المنضدة ، ذاتية التلميع (جان فيرتس) .

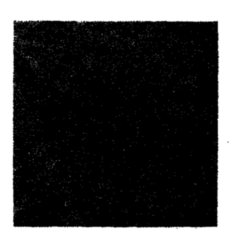


شكل (١١٢) ماكينة تلميع ماسية (أرنست فتروولده) .

وتكسى أقراص ماكينات التلميع باللباد والقطيفة (شكل ١١١) ويرش فوق الأقراص أوكسيد الألومنيوم الناعم كوسيط للتلميع . ويلمع الصلب والزهر وغيرها من عينات المواد الصلدة — مع إدارة العينات باستمرار — فـــوق قرص اللباد أما الفلزات « الأطرى » مثل النحاس والنحاس الأصفر . . الخ . فتلمع بعد ذلك فوق القطيفة مع استعمال مسحوق أوكسيد ألومنيوم أكثر نعومة .

وغالباً ما يستعمل التلميع بأوكسيد الألومنيوم بالاشتراك مع طرق أخرى . فجميع عينات الصلب غير المسبوك والزهر المصورة فى هذا الكتاب بعد تجليخها حتى ورق سنفرة رقم 600 لمعت بمعجون ماسى ثم لمعت بعد ذلك لفترة قصيرة بأوكسيد الألومنيوم على قرص اللباد . وجميع صور العينات الأخرى للفلزات غير الحديدية والصلب عالى السبيكة لمعت حتى النهاية باستعمال المعجون الماسى .

والمعاجين الماسية تحمل المواد بانتظام وسرعة من سطح العينة ، ويمكن بها تحاشى تكون بعض البروزات بالنسبة للمواد التى لها مكونات تراكيب داخلية تختلف اختلافاً كبيراً فى صلادتها . (شكل ١١٣) والمعاجين الماسية المستعملة فى تحضير العينات للفحص المجهرى تذوب فى الماء ولذلك يمكن تنظيف العينة منها بسهولة ، والعناية التامة بالنظافة واجبة فى كل خطوات العمل لكى لا تبقى حبيبة من الماس على قرص سيعمل بعد ذلك بحبيبات أكثر نعومة .

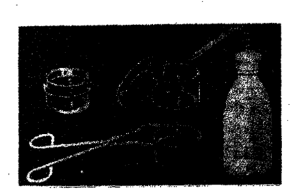


20 : 1

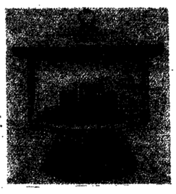
شكل (١١٣) حبيبات فلز صلد فى خام طرى جلخت ولمعت بمعجون ماسى .

وقبل نمش العينة يجب غسلها تحت الماء الجارى وتنظيفها بعناية مما قد يكون لاصقا بها من مسحوق التلميع ، حتى ولو كان هذا النمش بين فترتى تلميع ، وعند استعمال محلول نمش يذوب فى الماء فإنه يمكن نمش العينة المبللة فوراً . وأما إذا كان المحلول يذوب فى الكحول فيجب تنظيف العينة من الماء برشها بالكحول قبل النمش ثم يغطس السطح اللامع للعينة فى محلول النمش وتحرك قليلا . وبالنسبة للمحاليل التى تؤثر على الجلد تستعمل مساكات من الصلب غير القابل للصدأ أو من النيكل . وشكل (١١٤) يصور بعض المعدات المستعملة فى النمش .

ويمكن حفظ العينات التى يجب الاحتفاظ بها



شكل (١١٤) كأس نمش زجاجية ، كأس نمش من البلاستيك لمحاليل النمش المحتوية على حامض الهيدروفلوريك ، مساكات نمش ، وشاشة من البولى أثيلين .



شكل (١١٥) مجفف لحفظ العينات المجهرية .

مدداً طويلة فى مجفف بعيداً عن رطوبة الهواء (شكل ١١٥) مملوء جزؤه الأسفل بالسيليكاجل الطازجة التى تمتص الماء . والسيليكاجل الطازجة ذات اللون الأزرق الغامق يفتح لونها حين تمتص الماء ويمكن تجفيف السيليكاجل المستعملة وإعادة استعمالها . وتوضع العينات على لوح زجاجى مثقب ، ويجب تنظيف الجزء المسنفر من غطاء المجفف ودهانه بالشحم من حين لآخر .

٣ — أمثلة للنمش

محلول نمش للعينات التى ترى بالعين المجردة أو بتكبير بسيط لأنواع الصلب غير المسبوك أو القليل السبك .

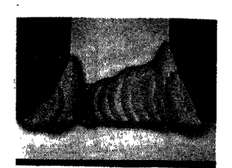
حامض نتريك كحولى	
90ml	كحول
10ml	حامض نتريك مركز

يجب عدم استعمال حامض النتريك المدخن (كثافته فوق 1,4) وإلا سيحدث تفاعل شديد يمكن أن يولد أبخرة نتروزية . يصب الحامض فى الكحول وليس العكس .

وبجانب درز الحام (شكل ١١٦) يمكن توضيح الانفصالات والتركيبات الأولية ، عمق طبقات السطوح المقساة واختلاف التركيب الداخلى فى الحديد الزهر .

ويوزع المحلول على سطح العينة اللامع من دقيقة إلى خمس دقائق تغسل العينة بعدها تحت ماء جار بدعكها بقطعة من القطن ، ثم ترش بالكحول وتجفف كلما أمكن فى تيار من الهواء الساخن .

محلول نمش للعينات التى ترى بالعين المجردة أو بالتكبير البسيط لكل أنواع الصلب ومواد النيكل والنحاس وسبائك النحاس .



1 : 1

شكل (١١٦) لحام بالقوس الكهربى لألواح صهريج HIII منمشة بمحلول 10% حامض نتريك كحولى .

محلول نمش آدلر	
(أ) كلوريد النحاس النشادرى II	3g
ماء مقطر	25 ml
(ب) كلوريد الحديديك III	15g
حامض هيدروكلوريك مركز	50ml

بعد أن يذوب الجميع يضاف المحلول ا إلى المحلول ب .

محلول نمش متعدد الاستعمالات لأنواع الصلب الغير مسبوكة والمسبوكة قليلا ، وعالية السبك ومواد النيكل والنحاس وسبائك النحاس . وبجانب درز الحام يمكن رؤية الانفصالات والتكوينات الأولية (شكل ١١٧) .



1: 2

شكل (١١٧) عينة مقطع من ريشة توربينة مصنوعة من صلب GX 25 Cr Nisi 189 منمشة بمحلول آدلر .

ويترك الماء يجرى فوق سطح العينات إذا كانت كبيرة قبل النمش ويوزع محلول النمش نفسه بسرعة وانتظام على سطح العينة المبلل وبذلك يمكن تجنب تكون البقع وإلا فإنه يكون مثل حامض النيتريك .

وسبائك الصلب الغير مسبوكة والمسبوكة قليلا تتأثر بمحلول ادلر أكثر كثيراً من محلول 10% حامض نتريك ، وهذا التأثير يكون أحياناً واضح التباين لدرجة أن تظهر بعض الأخطاء المصطنعة ، وإذا وجب فى مثل هذه العينات الحصول على صور منمشة أوضح فيفضل استعمال محلول حامض النتريك الكحولى .

محلول نمش للعينات التى ترى بالعين المجردة أو بتكبير بسيط للألومنيوم وسبائكه .

10ml	ماء مقطر
10ml	حامض هيدروكلوريك مركز
10ml	حامض نتريك مركز
2.5ml	حامض هيدروفلوريك 38-40% ig

يجب الحذر عند استعمال حامض الهيدروفلوريك . يغسل الجلد بالماء بعناية إذا وقعت عليه نقاط من هذا الحامض ، ويحفظ المحلول فى زجاجات من البلاستيك لأن حامض الهيدروفلوريك يتفاعل مع الزجاج ، وفوق ذلك يستحسن استعمال كؤوس من المطاط الصلد أو البلاستيك فى عملية النمش .



1 : 1

شكل (١١٨) تكوين لحام ألومنيوم نمش بمحلول نمش العينات التى ترى بالعين المجردة أو التكبير البسيط للألومنيوم وسبائكه .

وهذا المحلول يناسب توضيح زرد اللحام فى الألومنيوم وسبائك الألومنيوم (شكل ١١٨) وتعيين حجم الحبيبات واتجاه الدرفلة واتجاه الألياف .

وتدهن أوراق السنفرة بالشحم عند التجليخ على الناشف ويوضع المحلول على كل سطح العينة بعد تنظيفها من الشحم ، بحيث يكون سطحها مغطى بالمحلول ويتفاعل محلول النمش مع مادة العينة مع توليد حرارة شديدة وعندما يفور المحلول تنتهى عملية النمش. تجلخ العينة حتى ورق

طبعة الكبريت حسب باومان

95 ml	ماء
5 ml	حامض كبريتيك مركز

السنفرة رقم 200 ولا تلمس العينة المسنفرة بالأصابع وتحمى من سقوط الشوائب عليها – يغطس ورق البروم الفضى (ورق التكبير للتصوير) حوالى ٥ دقائق فى محلول حامض الكبريتيك ، ثم يمسح على حرف الوعاء المحتوى على المحلول ويوضع فوق العينة المسنفرة بحيث يقع الوجه المكسى للورق على سطح العينة المسنفر ويضغط عليها قليلا وبعد دقيقة أو دقيقتين يرفع الورق ويغسل بالماء بعناية ، ثم يثبت لمدة ١٥ دقيقة ثم يوضع فى الماء حوالى نصف ساعة ثم يجفف .

وعند وضع الوجه المكسى من ورق البروم الفضى على سطح العينة بعد تشبعه بالحامض ينتج نتيجة تفاعل الحامض مع الشوائب الكبريتيدية الدخيلة فى الصلب غاز كبريتيد الهيدروجين الذى يتداخل مع طبقة البروميد فى الورق ويتفاعل معها مكونا كبريتيد الفضة الداكن اللون ، وبذلك يمكن التعرف على توزيع الكبريتيدات فى الصلب (شكل ١١٩) .



1 : 5

شكل (١١٩) طبعة باومان من مقطع حامل صلب به شوائب دخيلة .

كما يجب الاحتراس فى تحضير جميع محاليل النمش التى تحوى حامض نتريك من استعمال حامض النتريك المدخن (كثافة أكثر من 1.4) .

كل صور الصلب غير المسبوك وقليل السبك والحديد الخام والحديد الزهر والحديد المطاوع فى هذا الكتاب لعينات نمشت حسب هذه الطريقة .

محلول نمش مجهرى لصلب غير مسبوك وصلب قليل السبك وحديد زهر

حامض نتريك كحولى

98 ml	كحول
2 ml	حامض نتريك مركز

محلول نمش مجهرى لصلب النيكل كروم العالى السبك V2A

حمام جورلز الحمضى	
ماء مقطر	100 ml.
حامض هيدروكلوريك مركز	100 ml
حامض نتريك مركز	10 ml
مائع كيميائى	0.3 ml

درجة حرارة النمش 60°C—50°C إذا تكونت حفر نمشية كبيرة ينمش عند درجة حرارة الجو العادية لمدة أطول ، مثال على ذلك (شكل ٧٦) .

محلول نمش مجهرى للنحاس وسبائكه .

ماء مقطر	120 ml
كلوريد النحاس النوشادرى	10 g

يضاف لهـــذا المحلول قبل عملية النمش نوشادر ، وعندئذ يتكون راسب أولا وينقط النوشادر بالتدريج حتى يذوب هـــذا الراسب ويكون لـــون المحلول أزرق غامقاً ولكنه صاف والأمثلة شكل (٣٤ ، ٦٠ ، ٦١) .

محلول نمش مجهرى للألومنيوم وسبائكه

حامض هيدروفلوريك	
99.5 ml ماء مقطر	
0.5 ml حامض هيدروفلوريك	

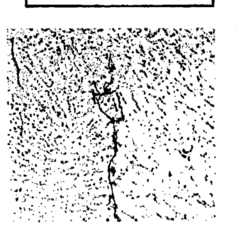
أو

صودا كاوية	
90 ml ماء مقطر	
10 g صودا كاوية (هيدروكسيد الصوديوم)	

كلاهما محلول نمش عام لا ينفع للبرهنة على وجود أجـــزاء معينة من التركيب الداخـــلى ومثال لذلك (شكل ١٢٠) .

٤ — التلميع والنمش الالكتروليتى

الأسس النظرية : ذكر ب . أ . جاكويت أن العينة الفلزية إذا وضعت كمصعـــد فى خلية الـــكتروليتية ستتفاعل مع المحلول الإلكتروليتى وينشأ عن ذلك محلول من أملاح مركبة تترسب كطبقة رقيقة على المساحة المراد تلميعها والسطح الذى ترسب من هـــذه الطبقة الرقيقـــة يكون مستويا تقريباً ولا يبين عـــدم انتظام سطح العينة . والمقاومة الكهربية لهذه الطبقة الرقيقة أقل حيث يوجد عدم انتظام فى سطح العينة يقلل من سمك هذه الطبقة الرقيقة ، وهذه المواضع تنقل لذلك بسرعة أكبر من تلك التى هى أعمق منها مما ينتج عنه أن يستوى السطح كله بالتدريج .



100 : 1

شكل (١٢٠) قشرة من الأوكسيد فى درز لخام ألومنيوم (محلول نمش 0.5% محلول حامض هيدروفلوريك) .

منحنى كثافة التيار مع الجهد الكهربى : توضع العينة فى المحلول الإلكتروليتى ويرفـع الجهد الكهربى من صفر ببطء وتدون عند كل خطوة بيانات الجهد الكهربى والتيار وإذا رسم منحنى بيانى للعلاقة بين كثافة التيار والجهد الكهربى ينتج لكثير من المحاليل الإلكتروليتية منحنى كالمبين (بالشكل ١٢١).

ويرتفع المنحنى أولا بانتظام فتزداد كثافة التيار بالتناسب مع الجهد وفى هذه الأثناء تنمش العينة ويذوب جزء من الفلز أثناء ذلك،وعندما يصل الجهدإلى 1.8 فولت يصل المنحنى إلى نهاية عظمى ، وهنا يبدأ تكون الطبقة الرقيقة اللزجة ، ونتيجة للمقاومة الأكبر الناتجة عن ذلك تقل كثافة التيار بعض الشىء .

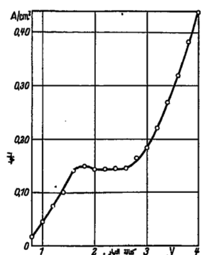
وتصبح الطبقة الرقيقة ثابتة ، وبينما يزداد الجهـد الكهربى تثبت كثافة التيار لفترة وفى هـذه الأثناء تلمع العينة ويبدأ المنحنى فى الارتفاع ثانية عنـد 2.6 فولت ، وهنا يبدأ تولـد فقاعات مما يسبب تعطل أو توقف تكوين طبقة التلميع الرقيقة وتلف السطح .

والمحاليل الإلكتروليتية التى تحوى حامض بيركلوريك غالباً ما تعطى منحنى أبسط يبدأ باعوجاج بسيط ثم يرتفع بانتظام كخط مستقيم (شكل ١٢٣) .

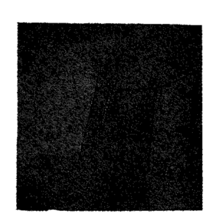
وعند الجهد المنخفض لا يمر عملياً أى تيار وتتكون طبقة التلميع الرقيقة ، وفى هذه الأثناء تنمش العينة ، وعند الضغط الأعلى يبدأ التيار فى المرور وتلمع العينة .

وامكانية التلميع على مجال واسع دون عيوب هى السبب فى استعمال المحاليل الإلكتروليتية المحتوية على حامض البركلوريك على نطاق واسع رغما عن خطورة أى خطأ فى العمل .

ويمكن استعمال محلول الكتروليتى من حامض البركلوريك للصلب والحديد الزهر مكون من جزءين من حامض البركلوريك (1.2) وسبعة أجزاء من كحول اثيلى (96%) وجزء من بوتوأكسى اثانول .



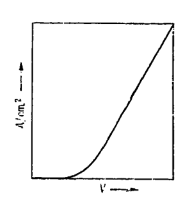
شكل (١٢١) تحقيق أنسب شروط التلميع الإلكتروليتية لعينة نحاس باستعمال منحنى الجهد الكهربى وكثافة التيار : الإلكتروليت حامض أرثوفوسفوريك (1.35)



100 : 1

شكل (١٢٢) عينة نحاس لمعت حسب المنحنى فى الشكل (١٢١) التلميع فى الجزء الأفقى من المنحنى والنمش فى أول الجزء المرتفع .

التجهيزات والتنفيذ العملى : يمكن تلميع كثيراً من العينات فى خلية الكترّوليتية بسيطة مثل الموجودة فى (شكل ١٢٤) فى قاع الوعاء الموجود فيه المحلول الإلكترّوليّ يوجد المهبط الذى يجب أن تكون مساحته عشرة أمثال المساحة الواجب تلميعها على الأقل وتوجد العينة غاطسة فى المحلول الإلكتروليّ كصعد موق المهبط بالناحية المجلخة منها فى مواجهة المهبط .



شكل (١٢٣) منحنى الجهد الكهربى وكثافة التيار لمحلول الكترّوليّ ذى مجال كبير للتلميع (حسب ج . ل . فايسهان) .

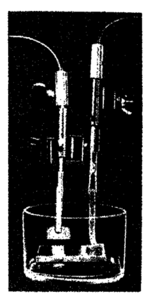
وفى (الشكل ١٢٥) تظهر عينة من صفائح سبيكة الفضة الألمانية (من النحاس والنيكل والزنك) أخذت دون معالجة سابقة بحالة تسلمها من المورد ولمعت ونمشت فى خلية الكترّوليتية بسيطة واستعملت قطعة كبيرة من نفس الصفائح كمهبط ولمعت العينة فى محلول الكترّوليّ مكون من جزءين من الكحول الميثيلى ، جزء من حامض النتريك (35 — 40 فولت ، 5 — 10 ثوان) ولم يمكن النمش بهذا المحول الإلكترّوليّ ، وللنمش استعمل محلول الكترّوليّ آخر فى نفس هذه الخلية وهو : ١٠ أجزاء حامض نتريك مركز ، ٥ أجزاء من حمض الخليك الثلجى ، ٨٥ جزء ماء مقطر (1,5 فولت — 20 — 60 ثانية) .

وكلما اختلفت العينات المستعملة كلما وجب أن تكون التجهيزات متعددة الجوانب ويمكن هذا باستعمال آلة تقليب ، عدادات لقراءة الجهد الكهربى وشدة التيار وجهاز لتبريد المحلول الالكترّوليّ فى الخلية الذى ترتفع درجة حرارته كثيراً بالاستعمال ولا يجب التبريد فقط للاحتفاظ بدرجة حرارة المحاليل الالكترّوليتية القابلة للاشتعال تحت نقطة الوميض ، بل لأن ارتفاع درجة الحرارة يمكن أن يغير من خصائص التلميع للإلكترّوليت المستعمل .

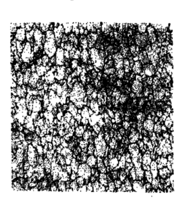
ويجب الاحتراس عند استعمال محلول الكترّوليّ به حامض بركلوريك لأنه متفجر ، ومن لا خبرة له فى استعمال حامض البركلوريك عليه أن يترك تحضير مثل هذه المحاليل الإلكترّوليتية لكيميائى متخصص أو يشتريها من مورديها ، ويجب خلط المحاليل

التي تحوى حامض بيركلوريك مع حامض الخليك اللامائي - الذى لا يجب إضافته بسرعة تزيد عن نقطة واحدة كل عشر ثوان - ويجب تبريد الحمام أثناء ذلك حتى لا ترتفع درجة الحرارة عن 24°C ويزداد خطر الانفجار بزيادة كمية حامض البركلوريك التي يحويها المحلول الالكتروليتى ، ولا يجب بحال من الأحوال أن يحتوى محلول الكتروليتى على أكثر من 40% من حامض البركلوريك ذى الكثافة 1.62 .

والمحاليل الإلكتروليتية التي تباع جاهزة وتحوى حامض البركلوريك تكون نسبته فيها ضئيلة بحيث أنها لا تشكل خطورة عند الاستعمال المعقول .



شكل (١٢٤) ترتيب مبسط لخلية للتلميع الإلكتروليتى .



100 : 1

شكل (١٢٥) عينة صفائح سبيكة فضة ألمانية بحالة تسلمها من المورد لمعت ونمشت في خليه مبسطة .

المحتويات

(أ)

(ب)

(ت)



رقم الايداع ١٧٢٦/٧٩
الترقيم الدولى ISBN ٩٧٧-٧٠٠١-٦٢-٤

.95

كا
ف

IN 3-540-09283-8

